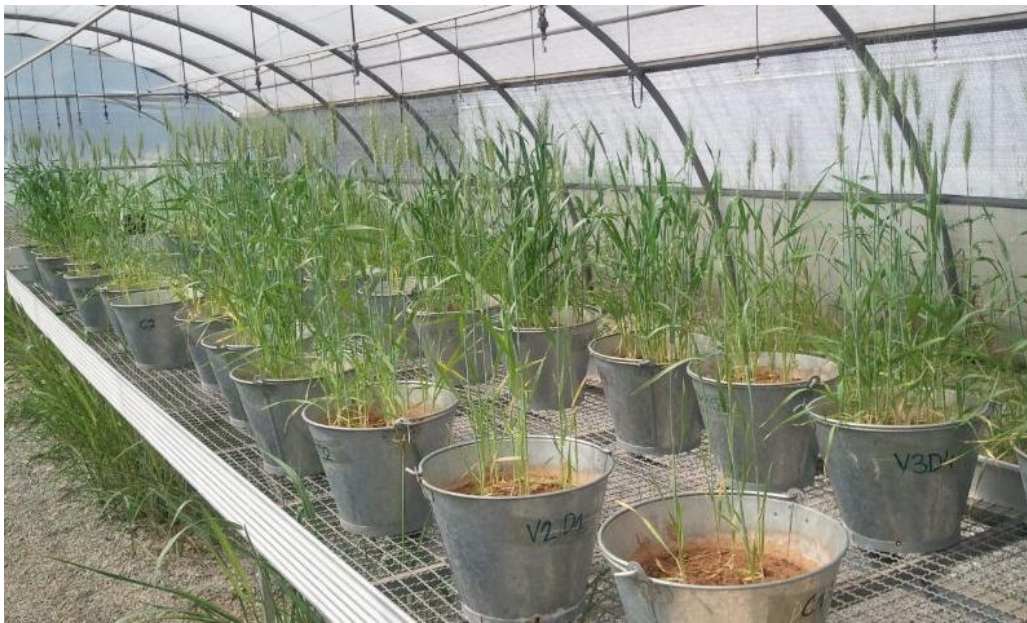


AVALUACIÓ DE L'APTITUD DE BIOESTABILITZATS COM A ESMENA ORGÀNICA PER A LA REHABILITACIÓ DE SÒLS



Autor: Sergi Cortés Iglesias

Director: Josep Maria Alcañiz Baldellou

Codirector: Vicenç Carabassa Closa

FACULTAT DE CIÈNCIES

Secció de Ciències Ambientals

***AVALUACIÓ DE L'APTITUD DE
BIOESTABILITZATS COM A ESMENA
ORGÀNICA PER A LA REHABILITACIÓ
DE SÒLS***

Memòria del projecte de final de carrera presentada per

Sergi Cortés Iglesias

Llicenciatura de Ciències Ambientals

Universitat Autònoma de Barcelona

Director: Josep Maria Alcañiz Baldellou

CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals)

Universitat Autònoma de Barcelona

Codirector: Vicenç Carabassa Closa

CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals)

Universitat Autònoma de Barcelona

AGRAÏMENTS

En primer lloc agrair al Josep Maria Alcañiz, el director del projecte, per donar-me l'oportunitat de dur-lo a terme, així com per tota la seva atenció i professionalitat. A Vicenç Carabassa, per tot el seu esforç i dedicació prestats; gràcies a la seva ajuda ha estat possible la realització d'aquest projecte. També a Oriol Ortiz i Stefania Mattana, per a les seves aportacions. I finalment a tots els membres del CREAF amb els qui he tingut el plaer de compartir algun moment.

Al meus pares, que han fet possible els meus estudis, a la meva parella que m'ha recolzat en tot moment. I en especial al meu germà a qui dedico aquest projecte.

A tots aquells que m'han donat ànims en alguna ocasió.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	pg.9
1.1 Els residus sòlids urbans (RSU).....	pg.9
1.1.1 Situació i gestió dels RSU.....	pg.9
1.1.2 Legislació.....	pg.15
1.2 El bioestabilitzat.....	pg.19
1.2.1 Definició	pg.19
1.2.2 Gestió del bioestabilitzat a nivell estatal i autonòmic.....	pg.20
1.2.3 La gestió del bioestabilitzat a la UE	pg.22
1.2.4 Possibles impactes sobre el medi i la salut humana derivats de l'aplicació de bioestabilitzat al sòl	pg.24
1.2.5 Usos actuals i possibles usos futurs del bioestabilitzat.....	pg.25
1.2.6 Investigacions prèvies	pg.25
2. JUSTIFICACIÓ DEL PROJECTE.....	pg.27
3. OBJECTIUS.....	pg.29
4. MATERIALS I MÈTODES	pg.31
4.1 Sòl	pg.31
4.2 Bioestabilitzats.....	pg.31
4.2.1 Descripció de les plantes.....	pg.31
4.2.2 Mostreig del bioestabilitzat.....	pg.36
4.2.3 Anàlisi de les propietats del bioestabilitzat.....	pg.36
4.2.3.1 Determinació del contingut d'impropis.....	pg.37
4.3 Bioassaig.....	pg.37
4.3.1 Disseny.....	pg.37
4.3.2 Incorporació dels bioestabilitzats al sòl.....	pg.38
4.3.3 Sembra.....	pg.39
4.3.4 Reg i control d'humitat del sòl.....	pg.39
4.3.5 Mostrejos.....	pg.40

4.4	Anàlisi de les mescles sòl-bioestabilitzat.....	pg.41
4.4.1	Humitat.....	pg.41
4.4.2	pH i conductivitat elèctrica (CE)	pg.41
4.4.3	Anàlisi de la matèria orgànica del sòl.....	pg.41
4.4.3.1	Matèria orgànica per calcinació.....	pg.41
4.4.3.2	Matèria orgànica dissolta.....	pg.41
4.4.3.3	Matèria orgànica total, mètode dicromat.....	pg.42
4.4.3.4	Matèria orgànica recalcitrant, mètode HCl.....	pg.42
4.4.4	Taxa de respiració del sòl (respirometria)	pg.43
4.4.5	Concentració de cations i anions solubles.....	pg.44
4.5	Assaig de germinació	pg.45
4.6	Evolució del desenvolupament de les plantes a l'hivernacle.....	pg.46
4.6.1	Germinació.....	pg.46
4.6.2	Elongació.....	pg.46
4.6.3	Biomassa aèria en un estadi entremig del bioassaig.....	pg.47
4.6.4	Espigació.....	pg.47
4.6.5	Biomassa final.....	pg.47
4.6.6	Quantificació de pigments fotosintètics.....	pg.47
5.	RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	pg.49
5.1	Caracterització dels bioestabilitzats.....	pg.49
5.2	Efecte del bioestabilitzat sobre les propietats fisicoquímiques del sòl.....	pg.51
5.2.1	Efectes sobre la capacitat de retenció d'aigua (WHC).....	pg.51
5.2.2	pH	pg.52
5.2.3	Salinitat.....	pg.53
5.2.4	Matèria orgànica.....	pg.55
5.2.4.1	Aproximació al contingut de matèria orgànica per calcinació (sòlids volàtils a 550°C).....	pg.55
5.2.4.2	Carboni orgànic total (TOC).....	pg.55
5.2.4.3	Matèria orgànica recalcitrant (C-HCl)	pg.57
5.2.4.4	Descomposició de la matèria orgànica, mineralització del carboni orgànic.....	pg.58

5.2.4.5 Matèria orgànica dissolta	pg.61
5.2.5 Caracterització dels ions solubles.....	pg.62
5.3 Efectes del bioestabilitzat en la germinació i creixement del blat.....	pg.63
5.3.1 Test de germinació de tres espècies de plantes.....	pg.63
5.3.2 Germinació.....	pg.64
5.3.3 Pèrdues d'aigua al sòl.....	pg.65
5.3.4 Creixement inicial.....	pg.67
5.3.5 Biomassa aèria en el primer mostreig destructiu.....	pg.68
5.3.6 Biomassa final.....	pg.69
5.3.7 Espigues	pg.71
5.3.7.1 Procés d'espigació	pg.71
5.3.7.2 Pes sec de la collita.....	pg.72
5.3.8 Pigments fotosintètics.....	pg.73
5.4 Discussió general.....	pg.74
6. CONSIDERACIONS PERSONALS.....	pg.77
7. CONCLUSIONS.....	pg.81
8. BIBLIOGRAFIA.....	pg.83
9. ACRÒNIMS.....	pg.89
10. ANNEX.....	pg.91
11. PROGRAMACIÓ.....	pg.95

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Evolució de la població mundial i la generació de RSU

Figura 2. Generació de residus urbans a España, i de mitjana a la UE-27

Figura 3. Diferents formes de gestió de residus en països de la UE al 2010

Figura 4. Evolució, generació i gestió dels residus municipals a Catalunya

Figura 5. Evolució de la generació i gestió de RM a Catalunya

Figura 6. Evolució de la generació de residus municipals i destinacions considerades a Catalunya

Figura 7. Bioestabilitzat refinat de la planta de Vacarisses

Figura 8. Esquema comparatiu del sistema de gestió de residus urbans català i alemany

Figura 9. Perfil dels horitzons del sòl utilitzat en el bioassaig

Figura 10. Reactor de bioestabilització, planta tractament de residus sòlids del Maresme

Figura 11. Rotopala de la nau de bioestabilització de la planta de Vacarisses

Figura 12. Esquema de la planta de bioestabilització CTR

Figura 13. Vapor sortint de la pila de bioestabilitzat i mostreig del bioestabilitzat a la planta

Figura 14. Muntatge del bioassaig

Figura 15. Cromatògraf utilitzat per a la determinació d'anions i cations

Figura 16. Assaig de germinació

Figura 17. Exemple fulla bandera, del tractament M2D2

Figura 18. Pila trobada en la mostra de bioestabilitzat de Mataró

Figura 19. Capacitat de retenció d'aigua del sòl

Figura 20. Evolució del pH al llarg del bioassaig

Figura 21. Evolució de la conductivitat al llarg del bioassaig

Figura 22. Percentatge de la pèrdua de pes de la mostra per calcinació a 550°C

Figura 23. Evolució del TOC des de l'inici al final del bioassaig

Figura 24. Evolució del C no hidrolitzable (C-HCl)

Figura 25. Respiració acumulada al sòl control al llarg de la incubació

Figura 26. Mitjana de la respiració acumulada per a cada tractament

Figura 27: Respiració acumulada al sòl tractat amb la dosi alta de BM (MD8)

Figura 28: Respiració acumulada al sòl tractat amb la dosi alta de BV (VD8)

Figura 29: Evolució matèria orgànica dissolta

Figura 30. Resultats del test de germinació

Figura 31. Germinació de llavors de blat en funció del tractament

Figura 32. Pèrdua d'humitat en un estadi primerenc del blat

Figura 33. Imatge del test M3D8 al inici del bioassaig

Figura 34. Pèrdua d'humitat en un estadi avançat del blat

Figura 35. Creixement en elongació a l'estadi inicial del blat

Figura 36. Pes sec de la biomassa en el mostreig exploratori

Figura 37. Mitjana dels valors del pes sec de les 10 plantes de blat de cada rèplica duta a terme per als tractaments amb BM i BV al final del bioassaig

Figura 38. Plantes de blat en el test M1D8 i V3D8

Figura 39. Mitjana del nº d'espigues

Figura 40. Mitjana del pes sec (g) del total d'espigues en cada tractament al final de bioassaig

Figura 41. Concentració de pigments fotosintètics a les fulles bandera

Figura 42. Aspecte del bioassaig el dia en que es van realitzar les sèmres (22/02/2013)

Figura 43. Aspecte de C1 (esquerra-dalt), M2D2 (dreta-dalt), M1D4 (esquerra-baix), M1D8 (dreta-baix) el 20/03/2013

Figura 44. Comparació del creixement de les plàntules de blat el dia (14/04/2013)

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Evolució de la generació de RSU per càpita a Europa

Taula 2. Principals característiques que defineixen les esmenes orgàniques/compost segons el RD 824/2005

Taula 3: Instal·lacions per al tractament de RSU

Taula 4: Entrada a nivell estatal de residus urbans a les instal·lacions de tractament i eliminació

Taula 5: Instal·lacions en funcionament i en construcció per a la gestió de residus municipals a Catalunya (2010)

Taula 6. Propietats del sòl usat en el bioassaig

Taula 7. Tractaments assajats en funció de la dosi de bioestabilitzat

Taula 8: Dosis de bioestabilitzats assajades i pesos corresponents a cada dosi

Taula 9. Pes dels diferents testos al 50% de la seva WHC

Taula 10. Calendari de mostreigs

Taula 11. Propietats del bioestabilitzat

Taula 12. Distribució del contingut d'impropis als bioestabilitzats

Taula 13. Valors de la capacitat de retenció d'aigua del sòl (WHC)

Taula 14: TOC i C-HCl procedent del bioestabilitzat per a cadascun dels tractaments

Taula 15: Concentració mitjana dels anions i del carboni soluble a T2

Taula 16: Concentració mitjana dels cations solubles a T2

Taula 17. Quadre resum dels principals efectes observats sobre el sòl i les plantes

Taula 18. Programació de les activitats realitzades

Taula 19. Anàlisi del bioestabilitzat de Mataró pres el 22/12/2011.

Taula 20. Anàlisi del bioestabilitzat de Vacarisses pres el 20/12/2011.

Taula 21. Anàlisi històric (17/04/2012 - 13/09/2012) del bioestabilitzat produït a la planta de TMB de Vacarisses, i analitzat al laboratori de la mateixa planta.

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Els residus sòlids urbans (RSU)

Els RSU inclouen residus domèstics i similars generats en comerços, oficines, institucions; a més dels residus de la neteja urbana, neteja de mercats, de parcs i jardins (Bernal i Gondar, 2008).

1.1.1 Situació i gestió dels RSU

Actualment la gestió dels residus municipals representa un problema en augment. Tot i que en els últims anys s'ha invertit molt en recuperació, reciclatge, aprofitament energètic i reutilització, l'increment en la producció de RSU planteja reptes ambientals importants.

Aquest increment en la producció mundial de residus és provocat principalment per la incorporació a la societat de consum d'una part important de la població mundial. A més d'això cal tenir en compte que la població ha augmentat dràsticament i consegüentment també ho han fet els residus generats, ja que existeix una relació directa entre població i generació de residus.

Globalment, la forma en què utilitzem els recursos actualment és incompatible amb els principis de sostenibilitat, essent els dos grans causants el creixement poblacional i el consum desmesurat dels recursos.

Tal i com podem observar en la figura 1, en un futur es preveu que es mantindrà la tendència actual pel que fa a creixement poblacional i que la generació de RSU pot augmentar fins a aproximadament un 50% en 50 anys.

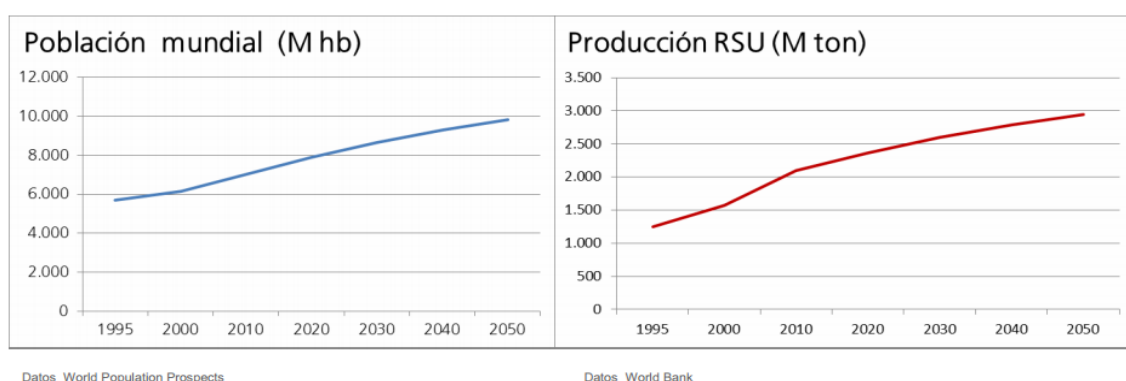


Figura 1. Evolució de la població mundial i la generació de RSU.

Font: Conama 2012

Cal tenir en compte que aquests xifres són a nivell mundial i que la gestió dels RSU és molt diferent entre les diferents regions del planeta. Als països desenvolupats en els últims anys s'observa una tendència a estabilitzar la producció de residus, i a millorar-ne la seva gestió sobretot en aquells amb uns majors nivells de concienciació

ambiental, com per exemple els països del nord d'Europa. En canvi als països en vies de desenvolupament hi ha una clara tendència al augment, i el que és més preocupant és que precisament en aquests països les mesures per tal de mitigar els efectes negatius són menors, i s'aposta per la mesura més facil i econòmica que és la de destinar-los a un abocador.

A nivell europeu, cal dir que l'economia es basa en un consum de recursos cada vegada més elevat, i es degut a aquest motiu, que la quantitat de residus generats augmenti any rere any (taula 1).

Taula 1. Evolució de la generació de RSU per càpita a Europa.

Generation per capita (kg/capita)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
EU15+EFTA	490	503	518	522	550	563	567	579	573	572	574
NMS12	362	359	363	340	353	361	340	347	338	335	334
EU27	459	468	481	480	505	517	516	527	520	519	520
Total	459	470	485	484	498	511	510	518	512	510	510
EU-15											
Austria	437	516	532	531	562	580	576	608	607	625	630
Belgium	457	446	462	457	459	464	459	461	443	465	462
Denmark	566	618	587	593	626	664	657	664	672	695	736
Finland	413	410	447	466	484	502	465	449	452	454	467
France	489	499	510	521	522	530	544	548	551	559	560
Germany	533	542	555	547	605	610	600	640	601	587	601
Greece	302	336	361	378	391	408	414	422	428	431	437
Ireland	513	523	545	554	576	598	700	692	730	746	733
Italy	451	452	463	466	492	502	510	518	521	541	551
Luxembourg	586	583	601	623	643	651	649	657	681	694	703
Netherlands	546	563	588	591	597	614	614	622	610	623	625
Portugal	386	396	404	423	440	472	470	436	447	435	443
Spain	512	538	559	562	609	654	654	639	649	603	592
Sweden	386	385	416	430	428	428	442	468	470	464	482
United Kingdom	496	509	531	541	569	569	587	599	592	603	582
EFTA											
Iceland	425	433	441	449	454	463	467	476	484	503	518
Norway	624	630	618	645	594	613	634	675	693	722	757
Switzerland	597	601	605	615	639	658	657	673	669	663	664
New Member States (NMS12)											
Bulgaria	695	618	579	497	504	524	506	501	501	473	464
Cyprus	529	568	575	586	590	597	615	620	634	653	662
Czech Republic	303	311	318	293	327	333	274	279	280	279	290
Estonia	371	399	424	402	414	441	373	407	419	449	437
Hungary	461	469	487	483	485	446	451	455	465	455	459
Latvia	261	261	254	248	244	271	302	339	299	311	311
Lithuania	426	401	422	444	350	365	377	402	384	367	379
Malta	331	342	352	377	465	534	537	537	579	621	609
Poland	285	301	315	306	318	317	290	275	260	255	245
Romania	342	326	325	278	314	355	341	384	365	378	383
Slovak Republic	295	275	274	259	261	254	239	283	297	274	289
Slovenia	596	590	589	584	549	513	478	407	418	417	423
Croatia	:	:	:	:	:	350	346	228	298	504	504
Turkey	441	467	499	506	460	454	453	445	440	415	410

Nota: S'observa un augment en pràcticament tots els casos en la producció de RSU. El resultat més elevat correspon a Noruega l'any 2005. A Espanya aquesta producció s'estabilitza a partir del 2001. **Font:** Eurostat & World Bank, 2007

A nivell estatal un dels principals reptes que s'ha dut a terme i que es va assolir en certa manera el 2004 és desvincular la producció de residus del creixement del PIB, aquesta és una situació que ha succeït a d'altres països europeus (Alemanya, el Regne Unit i Finlàndia en són alguns exemples). Fins aleshores un increment en el PIB era

sinònim d'un augment en la quantitat de residus municipals generats, i això en gran mesura és degut a que un increment en el PIB a l'estat espanyol ha significat un increment del nivell de vida i com a conseqüència la societat ha augmentat el consum de recursos. Trencar amb aquesta relació ha estat possible gràcies a les polítiques ambientals dutes a terme, i conscienciant a la societat de la importància de reduir aquesta producció no desitjada (*Perfil Ambiental de España 2009, 2010 i 2011*).

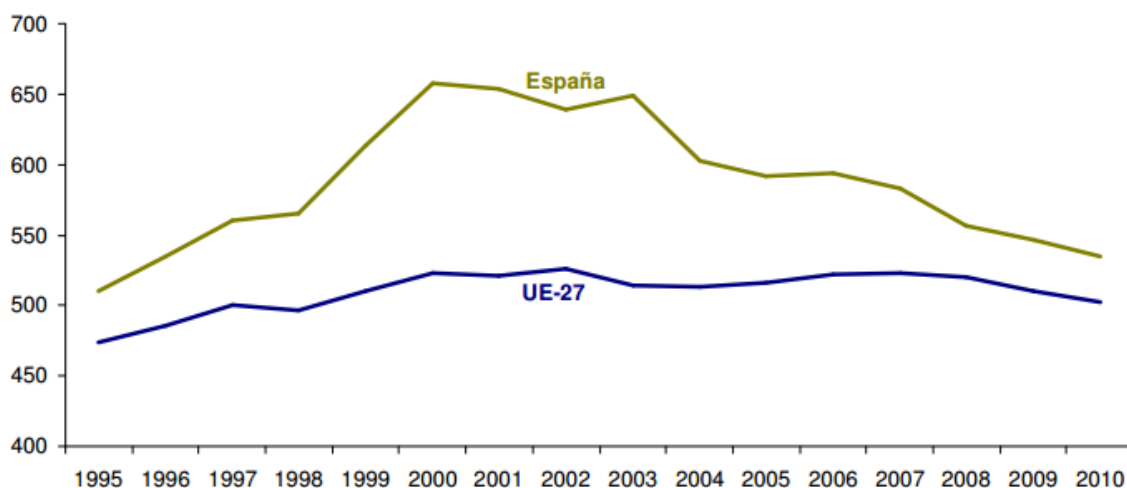


Figura 2. Generació de residus urbans (kg/hab.) a Espanya, i de mitjana a la UE-27.

Font: Eurostat, 2010

Tal i com veiem a la figura 2, a Espanya l'any 2003 s'inicia un descens en la producció de residus urbans.

Si comparem amb l'Europa dels 27 països es pot observar (figura 2) que ens els últims anys a Espanya la quantitat de residus generats, és cada vegada més propera a la mitjana europea de 502 kg per habitant (*Agència Europea de Media Ambient (AEMA)*). De manera que s'esta reduint considerablement la generació de residus deixant de banda l'exagerada producció que hi va haver entre el 2000 i el 2003.

A la taula 1 s'observa que la quantitat de països europeus que segueixen una tendència alcista en quant a generació de residus actualment encara és molt elevada. A Espanya aquesta tendència es va donar fins a l'any 2000 d'una manera exagerada, i es va mantenir fins al 2003, però en els últims s'ha produït un gir en sentit contrari. El 2009 es van generar 549 kg de residus urbans per habitant, valor bastant inferior als 662 kg/hab produïts l'any 2000 que representa el màxim valor del període 1996-2009. En l'entorn europeu, el 2009, Espanya va ocupar la novena posició en generació de residus per habitant.

Pel que fa a la gestió dels RSU, la situació és força diferent entre els països europeus (figura 3). A Espanya, més de la mitat dels residus acaben anant a l'abocador, un 60% aproximadament, i del 40% restant un 12% es recicla, un 20% es destina al compostatge i un 8% es incinerat. En altres països com Alemanya, Bèlgica, Holanda,

Suècia i Dinamarca va a parar a l'abocador una quantitat inferior a un 5%, i el 95% restant és incinerat o reciclat a parts més o menys iguals. En canvi a països com Romania o Bulgària pràcticament no es recicla ni incinera res i el 100% va a parar a l'abocador.

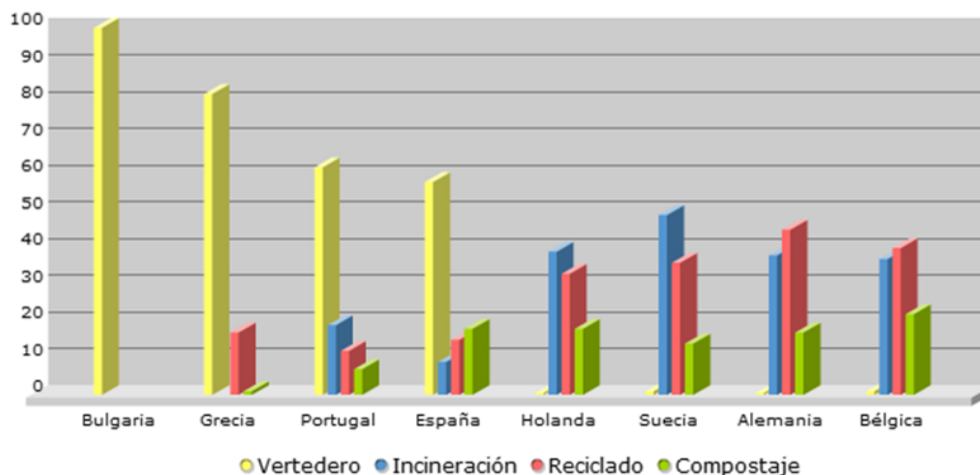


Figura 3. Diferents formes de gestió de residus en països de la UE al 2010.
Font: Eurostat, 2012

Aquestes dades ens demostren que la incineració no és incompatible amb el reciclatge. El fet de dur a terme una incineració dels residus urbans els quals no poden ser reciclats degut a les seves característiques o a la inviabilitat econòmica és un aspecte positiu en quant a sostenibilitat malgrat l'emissió de quantitats importants de CO₂ a l'atmosfera, ja que aquesta incineració permet reduir el volum d'aquests residus a la vegada que es genera energia. Aquesta afirmació es certa sempre hi quan la prioritat sigui el reciclatge i la recollida selectiva, deixen la incineració com a un segon recurs.

La directiva europea 1999/31/EC sobre l'abocament de residus limitava la quantitat de RSU degradables que podia ser abocada al 2006 a un 75% de la quantitat produïda el 1995, per el 2009 al 50% i per al 2016 la limita al 35%. És per aquest motiu que des de fa uns anys es dona un desenvolupament de noves estratègies basades en el reciclatge o valorització de la fracció orgànica mitjançant tractaments aeròbics (compostatge) o anaeròbics (digestió per a la producció de biogàs). Una altra alternativa és el pre-tractament del residu abans del seu abocament controlat mitjançant la incineració o tractaments mecànics i biològics (*Bernal i Gondar, 2008*).

A Catalunya, segons dades de l'Agència de Residus de Catalunya (ARC) (*Figura 4*), podem veure una tendència a l'estabilització o inclús a la disminució en la producció de RSU, tot i que fins el 2007 va anar en augment. El 2001 es van generar 3.596.000 tones de residus municipals, i el 2011 4.046.000 tones, és a dir un 12'51% de més, xifra força significativa. Cal tenir en compte que el nombre d'habitants també ha augmentat, concretament un 18'53%, això significa que en aquests 10 anys gràcies a les actuacions dutes a terme per tal de fer front a aquest problema s'ha aconseguit

reduir la quantitat de residus per càpita. La ratio de generació per càpita de residus per persona i dia el 2011 era de 1,47 kg/hab/dia.

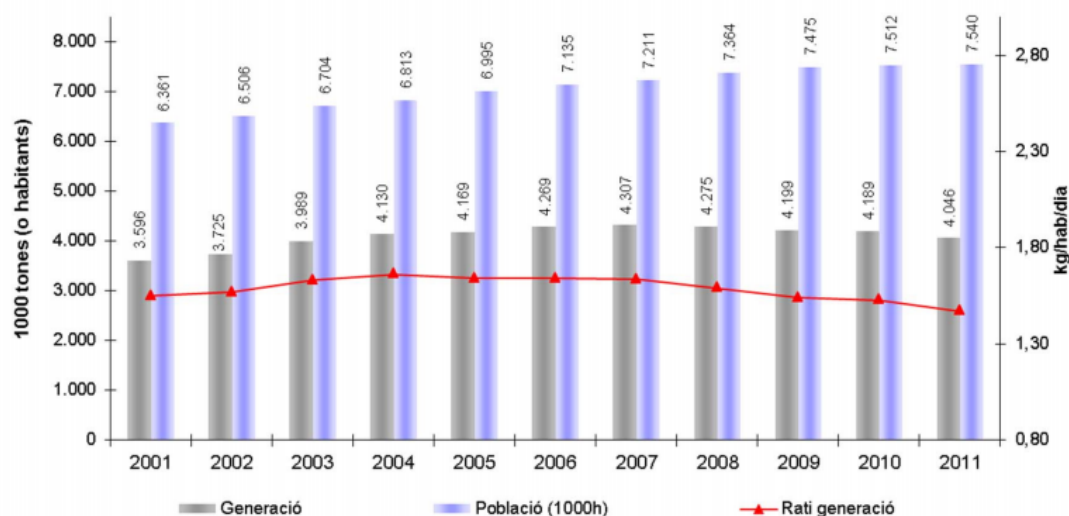


Figura 4. Evolució, generació i gestió dels residus municipals a Catalunya.

Font: Agència de Residus de Catalunya

De totes maneres, i sense restar mèrit a la labor duta a terme, és evident que la quantitat de residus a gestionar és realment elevada, i de no fer-ho correctament comportaria problemàtiques a nivell ambiental que afectarien directament a la qualitat de vida de les persones, tant a llarg com a curt termini.

Una de les mesures que ja s'està portant a terme des de fa uns anys tan a Catalunya com molts països europeus, i que permet tenir un control des de pràcticament l'inici del cicle dels residus a nivell municipal, és la recollida selectiva. Aquesta mesura es basa en que els habitants que constantment estan generant residus s'encarreguin de recollir-los selectivament per tal de que posteriorment l'administració s'encarregui de gestionar-los, amb l'objectiu d'obtenir un estalvi dels recursos naturals primaris (reciclatge), i minimitzar la quantitat de residus sense valor.

L'any 2011 a Catalunya es van recollir selectivament 1.643.697 tones de residus, és a dir un 40,62% del total. El 59,4% restant és el que s'anomena fracció resta.

A la figura 5, podem observar com la recollida selectiva ha anat en augment els últims 10 anys, i com s'ha reduït la fracció resta la qual la seva gestió és força problemàtica. De fet, quan a la gestió d'aquesta fracció resta es pot dir que ha estat bastant senzilla ja que la gran majoria d'aquests residus van a parar a un abocador. Possiblement el motiu hagi estat que aquesta era la solució més rentable econòmicament i que fins fa relativament poc no era viable cap forma per dur a terme una valorització d'aquesta porció tant important dels residus.

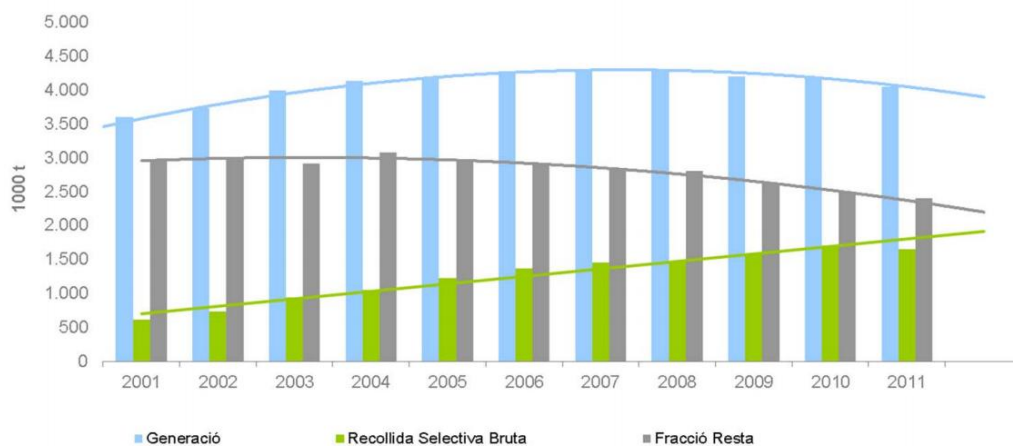


Figura 5. Evolució de la generació i gestió de RM a Catalunya.

Font: Agència de Residus de Catalunya

D'acord amb el Programa de Gestió de Residus Municipals (PROGREMIC), el tret essencial del nou model de gestió de residus municipals de Catalunya es basa en enfortir i estendre la recollida selectiva, i al mateix temps, tractar el 100% de les fraccions dels residus recollits, inclosa la fracció resta, prioritzant la valorització material i reduint i/o estabilitzant el rebuig destinat a disposició final.

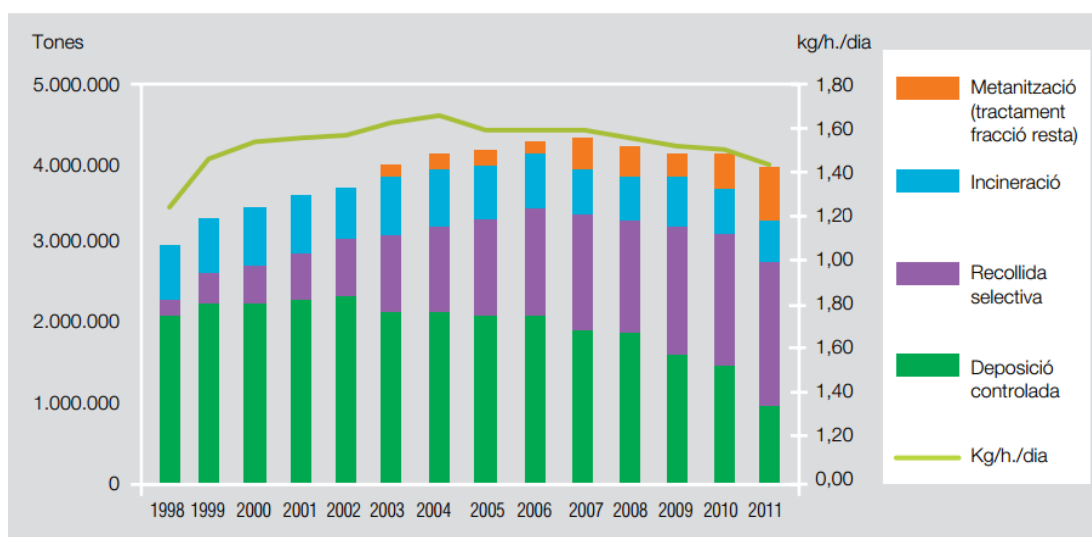


Figura 6. Evolució de la generació de residus municipals i destinacions considerades a Catalunya.

Font: Agència de Residus de Catalunya

En la figura 6 es pot observar que hi ha hagut una reducció molt important de la deposició controlada (abocadors controlats), i un augment de la recollida selectiva. La incineració s'ha mantingut més o menys igual i s'observa que a partir del 2003 apareix un nou destí, la metanització de la fracció resta.

1.1.2 Legislació

Una part important de la legislació vigent actualment en matèria de residus té el seu origen al Parlament Europeu. Aquesta legislació té com a objectiu resoldre una problemàtica real i de grans dimensions i està influïent de manera clara en les polítiques dutes a terme pels diferents estats membres. Com a prova d'això tenim les grans inversions econòmiques que s'han dut a terme en la construcció d'Ecoparcs, centres de tractament de residus i plantes de valorització energètica, a més de totes les polítiques de conscienciació i prevenció.

En línies generals, la legislació vigent se centra en regular i fomentar la valorització dels residus, cercant la reducció de les entrades a l'abocador de residus biodegradables. En aquest context, es fomenta la bioestabilització de la matèria orgànica de la fracció resta.

Seguidament es fa un recull de la legislació principal a nivell europeu, estatal i autonòmic referent a RSU i a productes fertilitzants, atès que el destí prioritari de la fracció orgànica del RM és l'aplicació al sòl.

Directiva 1999/31/CE del 26 d'abril del 1999 relativa a l'abocament de residus.

Aquesta directiva va ser creada amb l'objectiu d'establir unes mesures, procediments i orientacions per impedir o reduir, en la mesura del possible, els efectes negatius en el medi ambient de l'abocament de residus. Una d'aquestes mesures i potser la més important és que de d'aleshores s'obligarà a reduir la quantitat de material biodegradable que es destina a l'abocador.

Directiva 2008/98/CE del Parlament Europeu i del Consell, del 19 de novembre de 2008, sobre els residus

i per la qual es deroguen determinades Directives anteriors. Aquesta és la Directiva Marc de Residus, creada a nivell europeu per tal de fer front al complex problema de la gestió de residus, complir amb els criteris de sostenibilitat i així protegir el medi ambient i la salut de les persones. Per tal d'assolir aquest objectiu els estats membres hauran d'adoptar unes mesures per tractar els residus conforme a una jerarquia de prioritats:

- 1) Prevenció (reduir la quantitat de residus generats, amb mesures adoptades abans de que una substància, material o producte s'hagi convertit en residu)
- 2) Preparació per a la reutilització
- 3) Reciclatge
- 4) Altres tipus de valorització (qualsevol operació la qual el seu resultat sigui que el residu serveixi a una finalitat útil), per exemple la valorització energètica sempre i quant el poder calorífic sigui elevat.
- 5) Eliminació

És important també el que diu l'article 11, que parla sobre reutilització i reciclatge "Els estats membres adoptaran les mesures per fomentar un reciclatge d'alta qualitat, almenys de les matèries següents: plàstic, vidre, paper i metall". En el punt 2 d'aquest Article s'hi marquen els objectius i un d'ells és el següent: "Abans del 2020, s'haurà d'augmentar com a mínim fins a un 50% (de la massa dels residus) la preparació per a la reutilització de material tals com, el paper, els metalls, el plàstic i el vidre", aspecte que s'ha transposat de la mateixa manera a la Llei 22/2011, de 28 de juliol, de residus i sòls contaminats.

Amb aquesta Directiva queden derogades les anteriors 75/439/CEE, 91/689/CEE i 2006/12/CE, l'objectiu de les quals eren també du a terme una correcta gestió dels residus.

Llei 22/2011, de 28 de juliol, de residus i sòls contaminats. Aquesta és la transposició de la Directiva Marc de Residus a l'ordenament jurídic espanyol, i substitueix l'anteriorment vigent Llei 10/1998, de 21 d'abril, de Residus. Aquesta Llei pretén actualitzar l'anterior tenint en compte, per una banda, que l'experiència i formació en aquest camp és ja major, i per altra banda, que la prevenció, producció i gestió dels residus, i els principis que la inspiren han experimentat una important evolució. Aquesta nova llei promou la implantació de mesures de prevenció, la reutilització i el reciclatge dels residus. Conforme el que estableix la Directiva marc permet classificar com a operació de valorització la incineració de residus domèstics, únicament quan es produeixi un cert nivell d'eficiència energètica, tanmateix aspira a augmentar la transparència i l'eficàcia ambiental i econòmica de les activitats de gestió de residus. En definitiva pretén ser el camí a seguir cap una millor gestió dels residus.

Com a prova d'això a l'article 22 (objectius específics de preparació per a la reutilització, reciclatge i valorització) es parla de que per tal d'avançar cap a una societat del reciclatge amb un alt nivell d'eficiència dels recursos, el Govern i les autoritats competents mitjançant els plans i programes de gestió de residus duren a terme les mesures necessàries per arribar als objectius establerts. L'objectiu marcat fins aleshores en quant a residus domèstics i comercials, era que abans del 2020 la quantitat d'aquest tipus de residus destinats a la reutilització i el reciclatge de les fraccions que ho permetin (paper, metalls, plàstic, etc.) arribés al 50% del total en pes.

A l'article 3 (Disposicions i principis generals) del capítol 1 apareix per primera vegada el concepte de material **bioestabilitzat**, i aquest no es considera com a un compost. Un compost és una esmena orgànica obtinguda a partir del tractament biològic aerobi i termòfil dels residus biodegradables recollits separatament. No es considera compost el material orgànic obtingut de les plantes de tractament mecànic i biològic de la fracció resta, material que és anomenat **bioestabilitzat**.

Llei 9/2008, de 10 de juliol, de modificació de la Llei 6/1993, de 15 de juliol, reguladora dels residus. Aquesta és la llei autonòmica aprovada pel Parlament de Catalunya amb l'objectiu d'optimitzar la acció del Govern en quant a la gestió dels residus.

Es modifiquen varis preceptes de la llei vigent anteriorment, per tal d'adaptar-se a la normativa estatal i europea, i s'hi inclouen nous mecanismes per optimitzar, tant la planificació que el Govern du a terme per a la gestió dels residus, com les accions de reducció, recollida selectiva, formació i conscienciació establertes per la present llei.

D'acord amb el conveni Aarhus, aquesta llei fa possible l'accés a la informació sobre les mesures establertes, així com la consulta i la participació ciutadana, per tal de garantir la seva contribució en la planificació de la gestió dels residus a Catalunya.

Al article 3.3 de la llei 6/1993, s'hi afegeix una nova lletra, la j) on s'introdueix un nou concepte, la valorització material, que es considera una acció prioritària, i en l'article 2 del document es defineix aquest concepte com qualsevol procediment que permet l'aprofitament dels recursos continguts en els residus, excloent la utilització dels residus com a font d'energia.

Pel que fa a la legislació de productes fertilitzants cal destacar:

Real Decret 824/2005, de 8 de juliol, sobre productes fertilitzants. Es pretén concretar algunes de les disposicions del **Reglamento (CE) n.º 2003/2003** que han de ser desenvolupades i completades pels estats membres. Es presta una especial atenció a determinats fertilitzants, particularment a aquells que utilitzen matèries primes d'origen orgànic.

S'inclou la definició d'esmena orgànica: esmena procedent de material ric en carboni d'origen vegetal o animal, utilitzada fonamentalment per mantenir o augmentar el contingut de matèria orgànica del sol, millorar les seves propietats físiques i millorar també les seves propietats o activitat química o biològica.

En aquest Real Decret hi trobem de manera molt detallada als annexos, informació sobre la procedència i els components essencials dels diferents tipus d'adobs i esmenes, les propietats fisicoquímiques que han de tenir per estar dins de la legalitat, i especificacions de com ha de ser l'etiquetatge.

En el Grup 6, de l'annex I, es defineixen diferents tipus d'esmenes orgàniques, així com la seva forma d'obtenció, les característiques que han de tenir i altres informacions relatives a l'etiquetatge. És dins d'aquest grup on es classificaria el material bioestabilitzat, concretament sota el nom d'esmena orgànica-compost (*taula 2*), en cas que legalment fos apta la seva aplicació. Amb aquesta nomenclatura (esmena orgànica-compost) es defineixen aquells productes estabilitzats obtinguts a partir dels

materials orgànics biodegradables inclosos a l'annex IV, entre els quals hi trobaríem la fracció orgànica de residus municipals no recollida de forma separada, és a dir, el bioestabilitzat. No obstant, aquest no es podria considerar compost segons el que especifica la llei 22/2011.

Taula 2. Principals característiques que defineixen les esmenes orgàniques/compost segons el RD 824/2005 (Annex I, Grup 6: Esmenes orgàniques).

Núm.	Denominació del tipus	Informacions sobre la forma d'obtenció i els components essencials	Contingut mínim en nutrients (percentatge en massa) Informació sobre l'avaluació dels nutrients Altres requisits
1	2	3	4
02	Esmena orgànica Compost	Producte higienitzat i estabilitzat, obtingut mitjançant descomposició biològica aeròbica (incloent fase termofílica), de materials orgànics biodegradables de l'annex IV, sota condicions controlades	<ul style="list-style-type: none"> – Matèria orgànica total: 35% – Humitat màxima: 40% – C/N < 20 Les pedres i grans eventualment presents de diàmetre superior a 5 mm no han de superar el 5%. Les impureses (metalls, vidres i plàstics) eventualment presents de diàmetre superior a 2 mm no han de superar el 3%. El 90% de les partícules han de passar per la malla de 25 mm
	Altres informacions sobre la denominació del tipus o de l'etiquetatge		Contingut en nutrients que s'ha de declarar i garantir. Formes i solubilitat dels nutrients. Altres criteris
	5		6
	<ul style="list-style-type: none"> – pH – Conductivitat elèctrica – Relació C/N – Humitat mínima i màxima – Primeres matèries utilitzades – Tractament o procés d'elaboració, segons la descripció indicada en la columna 3 		<ul style="list-style-type: none"> – Matèria orgànica total – C orgànic – N total (si supera l'1%) – N orgànic (si supera l'1%) – N amoniacal (si supera l'1%) – P₂O₅ total (si supera l'1%) – K₂O total (si supera l'1%) – Àcids húmics – Granulometria

Nota: Dintre aquest mateix grup també trobem, la caracterització de: esmena orgànica húmica, compost vegetal, compost de fems, vermicompost, torba de molsa i torba herbàcia.
Font: RD 824/2005

Ordre PRE/630/2011, de 23 de març, per la qual es modifiquen els annexos I, II, III, IV, V i VI del Reial decret 824/2005, de 8 de juliol, sobre productes fertilitzants.

Modificació del Real Decret anterior, el qual es vigent actualment. Les principals modificacions són les següents:

- S'elabora un nou Annex I, «Relació de tipus de productes fertilitzants», però la caracterització que es fa respecte a esmenes orgàniques-compost no és veu alterada (taula 2).
- S'elabora també un nou Annex II, «Disposicions generals d'identificació i etiquetatge», que substitueix l'anterior.

- Es modifiquen els marges de tolerància de l'Annex III.
- Es modifiquen els criteris aplicables als productes fertilitzants elaborats amb residus i altres components orgànics de l'Annex IV. S'elabora una nova taula pel que fa al límit màxim de metalls pesants.

1.2 El bioestabilitzat

1.2.1 Definició

D'acord amb la nomenclatura utilitzada a Catalunya, es coneix amb el nom de bioestabilitzat el producte que s'obté després d'un procés d'estabilització de la matèria orgànica similar al compostatge (bioestabilització), el qual es du a terme en plantes de tractament de RSU. Aquest procés consisteix en sotmetre la part orgànica de la fracció resta dels RSU a l'acció dels microorganismes descomponedors, en condicions controlades de temperatura, humitat i oxigenació. Es calcula que la fracció resta dels RSU conte aproximadament un 45% en pes de matèria orgànica fàcilment biodegradable (*BOE, Plan Nacional Integrado de Residuos Urbanos para el período 2008-2015*).

Tal com s'especifica a l'article 3, apartat y) de la Llei 22/2011, de 28 de juliol, de residus i sòls contaminats, el bioestabilitzat no es considera un compost, ja que el compost únicament és aquell producte que s'ha obtingut de la recollida selectiva de matèria orgànica. Per altra banda, el bioestabilitzat es caracteritza per ser un producte que ha estat elaborat en un període de temps menor que el compost convencional, i que conseqüentment conté una proporció més elevada de matèria orgànica poc estable, la qual es degradarà ràpidament. També es caracteritza per tenir una quantitat major d'impropis (plàstics, vidres, metalls, pedres).



Figura 7. Bioestabilitzat refinat de la planta de Vacarisses. Fotografia presa pel V. Carabassa el 11/02/2013 durant la visita a la planta de TMB de Vacarisses.

Actualment, l'objectiu de la bioestabilització és reduir i millorar les propietats de la matèria orgànica de la fracció resta abans de què aquesta sigui dipositada en un abocador. Altres objectius del tractament de la fracció resta són: dur a terme una valorització de la matèria orgànica per obtenir-ne biogàs (opcional) i separar aquells materials que poden ser reciclats (vidre, plàstics, etc.). En definitiva, es tracta de reduir la quantitat de residus els quals aniran a parar a un abocador o seran incinerats en una planta de valorització energètica (tractament finalista) que és el que exigeix la legislació europea.

Aquest producte en un futur podria ser considerat un fertilitzant per a ser usat com a esmena orgànica, quedant dins de l'àmbit d'aplicació del Real Decret 824/2005. Actualment la problemàtica que hi ha és un considerable risc de contaminació (*Joint Research Centre, 2011*), tot i que el grau de coneixement en quant a les possibilitats d'ús d'aquest material és molt elevat.

1.2.2 Gestió del bioestabilitzat a nivell estatal i autonòmic

A nivell espanyol, segons el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural Y Marino, l'any 2006 la fracció resta representava un 86% del total dels RSU. A la taula 3 podem observar les instal·lacions per al tractament de RSU que trobem a nivell estatal. Podem observar que els abocadors el 2006 encara eren el destí principal dels RSU.

Taula 3. Instal·lacions per al tractament de RSU.

Instal·lacions	Nº centres	Entrada (t/any) 2006
Instal·lacions de classificació d'envasos	90	606.200
Instal·lacions de compostatge de FORM	18	160.017
Instal·lacions de triatge i compostatge	59	6.991.541
Instal·lacions de triatge, biometanització i compostatge	13	1.168.565
Instal·lacions d'incineració	10	2.024.586
Abocadors	182	16.007.098

Nota: el rebuig de les plantes de classificació d'envasos, així com el residu de les plantes de tractament mecànic i biològic estan comptabilitzades a les entrades a les instal·lacions d'incineració i disposició.

Font: BOE

A nivell estatal, l'any 2006 existien 72 centres (instal·lacions de triatge i compostatge; i instal·lacions de triatge, biometanització i compostatge) on es duia a terme un tractament mecànic i biològic de la fracció resta per a la seva separació i valorització, i s'obtenia bioestabilitzat com a producte final. En l'actualitat segons "ambiensys" les plantes de tractament mecànic-biològic generen un rebuig que oscil·la entre el 45 i el 60% del residu processat. Per tant, resulta una quantitat important si tenim en compte les dades del 2006, i més encara si considerem les dades actuals. En aquest percentatge però, si inclou el material bioestabilitzat, els lixiviats, i tots aquells

materials que no són valoritzables. En *Adani (2004)*, es prova que en una planta situada a la província de Milan (nord d'Itàlia) la quantitat de material final destinat a l'abocador es d'entorn el 25% de l'entrada neta de residus a la planta.

Taula 4: Entrada a nivell estatal de residus urbans a les instal·lacions de tractament i eliminació (t/any).

Tipo de instalaciones		2005	2006	2007	2008
TRATAMIENTO	Clasificación de envases	330.638	606.200	559.271	547.621
	Compostaje de fracción orgánica recogida selectivamente	243.921	160.017	161.781	460.408
	Triaje y compostaje	6.455.248	6.991.541	7.249.622	8.199.049
	Triaje, biometanización y compostaje	1.123.818	1.168.565	1.041.153	1.579.922
ELIMINACIÓN	Instalaciones de incineración				2.057.017
	Vertedero (incluye rechazos de plantas de tratamiento)				16.125.342

Font: MARM, extret del Perfil ambiental de España 2010, "residuos".

Tal com s'observa a les taules 3 i 4 la quantitat de RSU gestionats en les plantes de tractament mecànic i biològic (TMB) és molt elevada i va en augment, a la vegada que també s'incrementa la producció de bioestabilitzat. No s'han trobat dades pel que fa a la quantitat de material bioestabilitzat generat a nivell estatal.

Una part molt important del bioestabilitzat produït va a parar als abocadors. En aquest cas el principal objectiu es enviar a l'abocador un producte estable i sec que ajuda a complir amb les condicions de la directiva d'abocaments. Segons *Favoino (2005)*, el tractament de residus no separats en origen es planteja com una situació transitòria i d'adaptació a les exigències legals.

Un altra part s'usa com a combustible derivat de residus (CDR). El procés previ d'estabilització i triatge (eliminació dels metalls i materials inerts) és per tal d'obtenir un producte que pugui ser usat com a CDR d'alta qualitat (elevat poder calorífic, del ordre de 16.000 kJ/kg), i fer més eficient la valorització energètica (*Martinez Centeno, L.M., 2006*).

Taula 5: Instal·lacions en funcionament i en construcció per a la gestió de residus municipals a Catalunya (2010).

		En funcionament	En construcció
Valorització	Tractament biològic de la FORM	✎ (23)	✎ (2)
	Tractament mecànic-biològic de la RESTA	◆ (6)	◆ (1)
	Triatge	■ (1)	
	Triatge d'envasos lleugers	■ (11)	
Disposició	Incineradores	▲ (4)	
	Dipòsits controlats	▼ (25)	
Transvasament		■ (21)	
Transvasament de la FORM		■ (6)	■ (1)
Deixalleries		● (308)	● (9)
Deixalleries mini		□ (51)	□ (8)
Deixalleries mòbils		● (66)	

Font: Departament de territori i Sostenibilitat

A nivell autonòmic català, a la taula 5 s'observa que hi ha 6 plantes en funcionament i una en construcció.

Segons dades de l'ARC, el 2012 es van generar 80.000t de compost de FORM (recollida selectiva), enfront les 200.000t de material bioestabilitzat a partir de la fracció "resta". En la majoria de casos, igual que a l'estat, després del procés d'afinatge i tria del bioestabilitzat es compacta per a ser traslladat a un dipòsit controlat.

A l'ecoparc de Montcada i Reixac es defineix el bioestabilitzat com un producte orgànic semblant al compost, però de qualitat inferior, que pot ser útil per al rebliment de sòls.

En altres casos el bioestabilitzat es destinat a la planta de valorització energètica.



Figura 8. Esquema comparatiu del sistema de gestió de residus urbans català i alemany.

Font: Gencat

Actualment, a Catalunya no és permès l'ús agrícola del bioestabilitzat, a l'espera d'una futura normativa europea específica que ho podria permetre en determinades condicions¹.

1.2.3 La gestió del bioestabilitzat a la UE.

El **Joint Research Center - Institute for Environment and Sustainability (JRC-IES)**, entitat que s'encarrega de donar suport científic i tècnic alhora de desenvolupar, implementar o avaluar determinades polítiques ambientals a la UE, l'any 2011, va publicar una guia útil per als responsables de la política i gestió de residus a nivell nacional i sub-nacional. En aquesta guia, titulada *Supporting Environmentally Sound Decisions for Bio-Waste Management*, es presenten les pautes a seguir per tal de dur a terme la millor opció ambiental en quant a la gestió dels bioresidus mitjançant un enfocament de cicle de vida (producció, oferta, consum...).

¹ Veure "Working document Sludge and biowaste". 21 September 2010, Brussels.

En la nomenclatura europea el bioestabilitzat es coneix amb el nom de Compost-Like Output (CLO). Referent a aquest material, en la guia elaborada pel JRC s'especifica, que el compost elaborat a partir de residus mixtes (fracció resta) sota condicions anaeròbies o aeròbies (en el segon cas seria CLO), ara per ara no és adequat per a l'aplicació al sòl degut a l'elevat risc de contaminació (veure apartat 1.2.4). S'apunta també que la bioestabilització de la matèria orgànica prèvia a la deposició en un abocador s'està utilitzant habitualment per tal de reduir la quantitat de material biodegradable, complint així amb la Directiva d'abocadors (*Directiva 1999/31/CE*).

També es parla de que les tecnologies de TMB són bastant recents, i tal i com es senyala en *Saintmard (2005)* entre altres estudis, el compost de sortida (CLO) del TMB pot tenir un contingut de metalls pesants de 5 a 10 vegades superiors a la d'un compost procedent de residus biodegradables recollits selectivament, cosa que ara per ara impedeixi el seu ús com a fertilitzant o com a esmena del sòl.

En tots els documents consultats referents a aquest producte, com per exemple (*Simpson, 2008*) i (*Bardos, 2004*) s'informa què a nivell europeu, actualment el destí de la majoria d'aquest CLO és com a rebliment de cobertura dels abocadors, i que en alguns casos es pot utilitzar per a la recuperació, restauració o millora de terrenys degradats, però sempre de conformitat amb el Reglament de Permisos Ambientals (*Environmental Permitting Regulations*).

D'acord amb l'anterior paràgraf, a Alemanya el bioestabilitzat es destina pràcticament tot a l'abocador per tal d'evitar els possibles efectes negatius sobre el medi i la salut humana, es a dir que no hi ha cap benefici ambiental. Si be és cert que en alguna ocasió es s'ha usat aquest material com a revestiment de sòls temporals (per exemple en abocadors) o també com a esmena orgànica per a zones verdes al llarg d'autopistes o vies fèrries.

L'Agència de Medi Ambient de la Gran Bretanya, en una declaració referent a la gestió sostenible dels residus biològics i el bioestabilitzat (CLO), (*Sustainable management of biowastes - Compost-Like Output from Mechanical Biological- Treatment of mixed source municipal wastes*), es diu que a Anglaterra la producció d'aquest material l'any 2009 era relativament petita, al voltant d'unes 615.000 tones de residus municipals que es destinaven a una planta de tractament mecànic i biològic (Mechanical Biological Treatment (MBT)). No obstant, s'esperava que el següent any la quantitat de residus tractats augmentés fins al voltant d'uns 3 milions de tones, i encara més en el futur. De fet, a l'esmentat informe del JRC-IES també s'apunta aquesta tendència alcista, que ja hem comentat que s'ha produït també a Catalunya des del 2003.

Referent a la problemàtica alhora d'aplicar aquesta mena de compost al sòl segons la *UK Environment Agency* tenim:

- el potencial de contaminació química d'origen desconegut
- el potencial de contaminació física, per vidres i plàstics

- possibilitat de que els contaminants s'acumulin al sòl i causin danys al medi ambient
- la variabilitat de la qualitat
 - o la composició i qualitat del CLO és probable que siguin molt variable
 - o la composició i qualitat del CLO és probable que siguin específics per les determinades entrades de RSU
 - o la composició i qualitat del CLO és probable que siguin específics per els processos de tractament utilitzats en cada planta de tractament de residus
- falta de coneixements sobre el CLO

En el següent Apèndix de la *Environment Agency* “**EPR 6.15, How to comply with your environmental permit. Additional guidance for the use on land of compost-like outputs from the mechanical-biological treatment of mixed municipal solid wastes.**” trobem unes pautes per tal de dur a terme assajos amb l'objectiu de qualificar i quantificar la repercussió del CLO utilitzat sobre sòls agrícoles o que en un futur podrien ser-ho.

1.2.4 Possibles impactes sobre el medi i la salut humana derivats de l'aplicació de bioestabilitzat al sòl.

Actualment la qualitat del compost que s'obté a partir de la fracció resta conté contaminants físics els quals poden causar una sèrie de problemes a la salut humana i el medi ambient:

- Impactes estètics: les zones tractades poden presentar un aspecte poc satisfactori (per exemple el brillant del vidre). En alguns casos la fixació dels límits en quant a contaminació física es marquen en base a l'aspecte visual sobre el terreny, com per exemple als estats canadencs (*BNQ, 2005*).
- Perills derivats d'objectes punxants: pot provocar danys a la fauna de la zona en cas de ser ingerits.
- Perill a causa de la ingestió del plàstic per la fauna silvestre i de pastura.
- Efectes en la l'activitat de la biota del sol: Si s'aplica aquest material al sol es per tal de millorar les propietats d'aquest, però per contrapartida el fet de que en aquest compost hi hagin impropis com ara plàstics o vidre que són materials altament recalcitrants i que poden influir negativament en el comportament de la fauna edàfica. En un estudi, *Wright (1972)*, es van trobar que la ingestió de partícules sòlides de plàstic era perjudicial per als cucs de terra, causant efectes inhibidors en la seva alimentació.
- Efectes sobre el creixement de les plantes.
- Contaminació per metalls pesants.

1.2.5 Usos actuals i possibles usos que pot tenir el bioestabilitzat.

Rebliment i material de cobertura diària en els abocadors: Un cop un abocador està ple aquest material pot ser útil per a la restauració i millora de la coberta d'aquest. També pot utilitzar-se com a material de cobertura diària per evitar el problemes associats als abocadors, com són les emissions de males olors i lixiviats (*Bardos, 2004*).

Hurst C, (2005) va investigar si el compost provinent del TMB era eficaç alhora de mitigar les olors associades a la superfície dels abocadors (biofiltres). Els resultats dels assaigs que utilitzaven gas d'abocador van mostrar una reducció del 69% de l'olor (UO(m3) a través de la columna per al compost de densitat aparent de 590kg/m3, i una reducció del 97% en l'ús de compost amb una densitat aparent de 740kg/m3.

En un article del *Waste Management & Research (Maree et al. 2011)* publicat el 2011, ens parla del rebliment sanitari dels abocadors amb bioestabilitzat, és a dir la cobertura diària amb aquest material per mitigar la contínua emissió de gasos (metà) i males olors.

Aplicació com a esmena orgànica: L'aplicació de material bioestabilitzat al sòl per tal de millorar-ne les seves propietats, podria ser una realitat en un futur. Aquest material si ha seguit un correcte procés de bioestabilització tindrà un proporció adequada de matèria orgànica recalcitrant que el farà útil per a ser usat com a esmena orgànica, per combatre fenòmens de degradació i desertificació de sòls, en particular en zones semiàrides amb un escàs contingut de matèria orgànica. Cal dir també que els contaminants físics presents en aquest compost juguen un paper advers.

Fertilitzant en agricultura: En alguns casos es parla de la possibilitat d'utilitzar aquest material com a fertilitzant degut a l'elevada quantitat de matèria orgànica que pot aportar al sòl, a més d'altres nutrients. Però cal tenir en compte que ara per ara el risc de contaminació és elevat i la majoria d'experts no en recomanen el seu ús.

1.2.6 Investigacions prèvies

La producció de material bioestabilitzat és un fet molt recent per la qual cosa la bibliografia existent és força reduïda. Els articles citats a continuació tenen objectius molt semblants als que es pretendrà assolir en aquest treball:

- Frioni (1998) Biotransformación aerobia de residuos orgánicos sólidos. En aquest estudi realitzant a Uruguay, es pretenia estudiar el procediment de biodegradació de RSU i provar quin podria ser el seu efecte sobre els cultius. Aquest estudi es relativament antic de manera que l'enfoc que es tenia aleshores era molt diferent a l'actual i la tecnologia disponible era més limitava la qual cosa portava a conclusions no gaire optimistes.

- Adani (2004) Biostabilization of municipal solid waste. En aquest altre estudi es pretén comprovar que en un període de temps curt (3 setmanes) és possible obtenir un material estabilitzat d'acord amb la normativa actualitzada de la regió de Llombardia referent a la bioestabilització i dels processos de compostatge.
- Donovan et al. (2012) Characterization of Compost-Like Outputs from Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste. En aquest article es pren consciència de la importància de gestionar bé els RSU, i contempla la possibilitat de generar *compost-like outputs* com a mesura per reduir les emissions de metà derivades de la descomposició de MO en els abocadors.
- Simpson (2008) Long term behaviour of compost-like-output and its associated soils. En aquesta tesi es pretén oferir una visió de quin és el comportament a llarg termini del bioestabilitzat al sòl.
- Farrell, M., Jones, D.L. (2009). Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. Bioresour. Observen un increment generalitzat en l'ús d'aquesta tecnologia a nivell europeu, ja que permet recuperar una elevada proporció de materials (vidres, plàstics, etc.) fent més eficient el reciclatge. També s'indica que la millor opció per tal de donar un valor a aquest producte és en el marc de la rehabilitació i restauració de sòls.
- Shabani et al. (2011) Effect of municipal solid waste compost on yield and quality of eggplant. En aquest article es porta a terme una anàlisi molt similar al que es fa en aquest treball, que consisteix en avaluar l'efecte del bioestabilitzat en un tipus de cultiu. S'observa que l'aplicació de compost té uns efectes positius, i no se'n demostren de negatius.
- Fernández (2013) Municipal solid waste compost addition as an organic amendment on galician agricultural soils (NW SPAIN). L'objectiu d'aquest estudi va ser avaluar l'efecte que l'addició de compost procedent de RSU tenia sobre algunes de les propietats químiques dels sòls agrícoles de Galícia. Es va concloure que el compost de RSU és apropiat per a la seva aplicació en agricultura, malgrat l'oposició dels ciutadans a causa d'un desconeixement de les concentracions d'elements traça.

2. JUSTIFICACIÓ DEL PROJECTE

Aquest treball forma part de l'assignatura Projecte de Final de Carrera, establerta com obligatòria en el pla d'estudis (Cód. 23847) per a l'obtenció de la titulació de llicenciat en Ciències Ambientals per la Universitat Autònoma de Barcelona.

La bioestabilització de la matèria orgànica de la fracció resta és una realitat que s'està portant a terme a diferents plantes de tractament de residus tant a nivell de Catalunya (Mataró, Vacarisses, Terrassa, Hostalets de Pierola...) com a nivell europeu.

Par tal de produir el bioestabilitzat, en el seu moment es va dur a terme una inversió important de capital per construir les instal·lacions necessàries, i actualment aquestes plantes es troben totes en funcionament i tenen uns costos elevats de manteniment. Seguint amb la tendència europea, des de fa uns anys l'Agència de Residus de Catalunya (ARC), amb la col·laboració d'empreses del sector, està intentant valoritzar aquest material evitant el tractament finalista, és a dir, la seva disposició en un dipòsit controlat de residus.

A llarg termini no tindria massa sentit augmentar la producció d'aquest material, o inclús només mantenir-la, si el seu destí continua sent per al reblliment d'un abocador, degut als importants costos afegits d'aquesta tecnologia. A més, la tendència seguida a Europa consisteix en reduir la disposició en abocador, a favor, entre altres alternatives, de la valorització. És per això que en aquest projecte s'avaluarà, mitjançant un assaig experimental a petita escala, l'aptitud d'aquest material com a esmena orgànica per a un ús menys restrictiu que l'agrícola com és la restauració de sòls.

Demostrar si efectivament aquest material pot ser útil per a la restauració de sòls degradats seria un pas important cap a la sostenibilitat a la qual es busca arribar des de fa anys a la majoria de països desenvolupats, pel que fa a la gestió de residus, i també es donarà força al concepte relativament nou de valorització dels residus.

La realització d'aquest projecte parteix d'un problema real i ha estat realment interessant ja que m'ha permès experimentar d'una manera molt propera a la realitat quina és la metodologia a seguir a l'hora de dur a terme un projecte amb expectatives de futur, a la vegada que he pogut posar en pràctica tot un seguit de disciplines com són la gestió dels recursos naturals, sostenibilitat, restauració de sòls, edafologia, legislació ambiental, etc. les quals s'han tractat en major o menor mesura al llarg de la carrera. També m'ha permès comprendre la complexitat que hi ha darrera d'un estudi d'aquestes característiques, i la dificultat a l'hora de dur a terme una bona interpretació dels resultats, ja que no sempre els resultats obtinguts són els esperats.

Els principals beneficiaris d'aquest projecte seran aquelles persones interessades en explorar més a fons les possibles utilitats que pot tenir aquest material bioestabilitzat, i

la repercussió que això pot generar tant a nivell de prevenció de la contaminació del sòl, com a nivell de sostenibilitat o a nivell econòmic. A la vegada que també podrà servir com a punt de partida a l'hora d'encaminar futures investigacions.

3. OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquest projecte és provar si el material bioestabilitzat generat a partir de la porció orgànica de la fracció resta dels residus municipals pot ser útil com a esmena orgànica en la restauració de sòls degradats. Per tal de comprovar això s'han marcat els següents objectius específics:

1. Caracteritzar dos bioestabilitzats des del punt de vista de la seva composició i les principals propietats que determinen l'aptitud per a la seva potencial aplicació al sòl.
2. Mesurar els efectes de dos bioestabilitzats sobre la germinació com a indicadora de la presència de substàncies inhibidores o de condicions desfavorables per a les plantes.
3. Analitzar l'efecte de dosis creixents dels bioestabilitzats sobre la matèria orgànica, l'activitat respiratòria, la salinitat i el pH d'un sòl calcari poc fèril.
4. Avaluar els efectes de dosis creixents de dos bioestabilitzats sobre la germinació i el creixement del blat en un sòl calcari.

4. MATERIALS I MÈTODES

4.1 Sòl

Per a la realització dels experiments de camp i laboratori s'ha usat un sòl de baixa qualitat per tal d'apreciar de manera clara quins són els efectes derivats d'aplicar-hi diferents dosis de material bioestabilitzat.

El sòl pertany a un horitzó B d'un *Calcixerept típic*, i ha estat pres d'un petit tal·lus situat als camps experimentals de la UAB.

Taula 6. Propietats del sòl usat en el bioassaig

Determinació	Resultat	Unitats
HUMITAT 105°C *	5,2	%
pH*	8,39	
COND. ELECT. A 25°C *	0,135	dS/cm
PÈRDUA A 375°C *	2,3	%
PÈRDUA A 550°C *	4	%
MAT. ORGÀNICA TOTAL *	1,41	%
MAT. ORGÀNICA RECALCITRANT *	50,1	% resp. total M.O.
ARGILA D < 0,002mm	19,4	%
LLIM FI 0,002 < D < 0,02mm	13,7	%
LLIM GROS 0,02 < D < 0,05mm	20,9	%
ARENA FINA 0,05 < D < 0,2mm	21,6	%
ARENA GROSSA 0,2 < D < 2mm	24,4	%
CLASSE TEXTURAL USDA	franca	
CROM Extr. Acid (Cr)	28	ppm
NIQUEL Extr. Acid (Ni)	18	ppm
PLOM Extr. Acid (Pb)	23	ppm
COURE Extr. Acid (Cu)	25	ppm
ZINC Extr. Acid (Zn)	75	ppm
MERCURI Extr. Acid (Hg)	52	ppb
CADMI Extr. Acid (Cd)	<0,1	ppm
CIC	11,5	meq/100g
NITROGEN KJELDAHL (N)	0,08	%
CARBONAT CALCIC EQUIV. *	22,7	%

Nota: Els paràmetres que han estat determinats al laboratori estan marcats amb *. La resta de paràmetres han estat determinats per Applus.

A la taula 6 es presenta la composició y propietats principals del sòl utilitzat. S'han utilitzat els mètodes oficials d'anàlisi de sòls del Ministeri espanyol competent en matèria d'agricultura.

El dia 30/01/2013 es van extreure uns 300kg de sòl que van ser garbellats amb un sedàs de 5mm. Un cop garbellat, el sòl es va guardar en un "bigbag" per un període de 14 dies.



Figura 9. Perfil dels horitzons del sòl utilitzat en el bioassaig.
Fotografia presa pel S. Cortés el 30/01/2013.

4.2 Bioestabilitzats

En la realització d'aquest projecte es treballarà amb el material bioestabilitzat generat a dues plantes de tractament mecànic-biològic de residus: Vacarisses i Mataró. En aquestes plantes és du a terme un tractament de la matèria orgànica procedent de la recollida selectiva i d'aquella que hi ha a la fracció resta dels residus municipals. A continuació s'explica de forma detallada el procés seguit en cadascuna.

4.2.1 Descripció de les plantes

Planta de tractament mecànic-biològic de Mataró

És gestionada pel Consorci per al tractament de RSU del Maresme i té una capacitat nominal de 190.000 t/any. S'hi tracta la fracció resta dels residus generats a la comarca del Maresme. Els objectius principals de la planta són recuperar els materials reciclables (més de 16.000 t/any) presents en la fracció resta dels residus municipals i, posteriorment, dur a terme una estabilització de la matèria orgànica del residu restant. D'una part d'aquesta fracció rica en matèria orgànica se'n fa una valorització a través de la biometanització.

Els principals processos que hi tenen lloc són:

1. Pretractament. Inicialment es du a terme un triatge manual, on es pretén recuperar tots aquells materials reciclables (vidre, paper i cartró, voluminosos...) després d'aquest triatge manual els residus són destinats a un triatge secundari, el qual es du a terme gràcies a un sedàs de doble malla (70mm i 200mm). La fracció de 0-70 mm s'anomena fracció passant i conté una elevada proporció de

matèria orgànica, per tant es destinarà, en funció de la granulometria, a la bioemetanització (> de 15mm) i bioestabilització (< de 15mm). La fracció de 70-200mm conte encara una gran quantitat de materials aprofitables, així es condueix a un procés de recuperació, on una part d'aquests seran materials reciclables, altres útils en el procés de biometanització i bioestabilització, i una part força elevada serà considerada rebuig i es destinarà a la planta de recuperació energètica (incineració). Finalment, la fracció superior a 200mm es considera rebuig i s'envia a la planta de recuperació energètica.

2. Biometanització. Es realitza amb aquella matèria orgànica seleccionada prèviament amb una granulometria entre 15 i 70mm. Aquesta es sotmesa a una digestió anaeròbia en condicions controlades, on el producte final serà el biogàs. Aquest biogàs s'utilitzarà per produir electricitat i a la vegada calor (cogeneració). La producció de la planta es de 13 GWh/any tenint en compte que en absència de biogàs els generadors també poden funcionar amb gas natural, garantint un funcionament continu dels motors.
3. Bioestabilització. En primer lloc cal dir que es duu a terme amb aquella matèria orgànica seleccionada en el pretractament (< de 15mm), a més del material residual deshidratat procedent de la planta de biometanització. Aquesta matèria orgànica va a parar a la nau de bioestabilització que te una capacitat màxima de 75.000 t/any. Les dimensions de la nau són de 132x35x9m, i aquesta es manté en unes condicions òptimes de temperatura (55-60°C), humitat i lleugera depressió (per controlar els gasos produïts), paràmetres claus per tal de dur a terme un correcte procés biològic de transformació aeròbica de la biomassa en bioestabilitzat, procés similar al de compostatge.



Figura 10. Reactor de bioestabilització, planta tractament de residus sòlids del Maresme. Fotografia presa pel S. Cortés el dia 06/02/2013.

El procés es duu a terme en el que s'anomena "reactor de bioestabilització" de 120x26m de superfície (figura 10), i una altura aproximada de 2.5m la qual varia en funció de la carrega.

En un dels dos costats (120m) del reactor mitjançant una cinta transportadora i una màquina acoblada a aquesta va alimentant contínuament el reactor. La matèria orgànica és voltejada diàriament. Aquest procés dura aproximadament unes 6 setmanes en funció de la carrega del reactor. Mitjançant els mateixos voltejadors que s'utilitzen per airejar la matèria orgànica es fa passar el material d'un costat a l'altre del reactor, on passades les 6 setmanes i mitjançant una cinta transportadora és retirat automàticament el bioestabilitzat.

El manteniment de les condicions òptimes per al procés biològic és possible gràcies al volteig del material, i un sistema d'aspiració de gasos per sota del reactor, això garanteix l'airejació del material i l'eliminació del calor en excés.

Finalment es passa al refinat del bioestabilitzat. Del reactor surt un material bioestabilitzat amb una granulometria de 0-70mm, una densitat de 700 kg/m^3 , i una humitat entre el 25-30%. Aquest material es fa passar per un sedàs de 15mm, la part passant és el que s'anomena bioestabilitzat afinat, i el que és potencialment útil com a esmena orgànica. La fracció superior a 15mm es conduirà a la planta de valorització energètica o a un abocador controlat.

Pel que fa a la planta de recuperació energètica, és on es porta a terme la incineració d'aquells residus sense valor per tal d'obtenir energia. Aquesta planta permet aportar 80 GWh/any a la xarxa elèctrica general i 7,5 t/h de vapor al Tub Verd (xarxa de distribució de calor que aprofita calors sobrants d'infraestructures ambientals de Mataró i evita el consum d'energies fòssils als seus usuaris).

Planta de tractament mecànic-biològic de Vacarisses

Situada al terme municipal de Vacarisses, gestionada pel Consorci per a la Gestió de Residus del Vallès Occidental i integrada dins del Centre de Tractament de Residus del Vallès (CTR Vallès), destaca perquè ha estat premiada per la seva integració en el paisatge de l'entorn. Té una capacitat per gestionar unes 245.000 t/any de la fracció resta dels residus, i unes 20.000 t/any de FORM ampliables fins a 40.000. L'objectiu d'aquesta planta, igual que a la de Mataró, es dur a terme un tractament integral dels residus, la qual cosa es realitza amb una recuperació, reutilització, reciclatge i valorització de tots aquells components que ho permetin, i els que no es dipositaran de manera controlada en un abocador, aconseguint minimitzar el rebuig final.



Figura 11. Rotopala de la nau de bioestabilització de la planta de Vacarisses.

El procés de tractament dels residus de la planta de Vacarisses és molt semblant al que s'ha descrit a la planta de Mataró. Inicialment els residus passen per un pretractament mecànic on és separen en funció de la seva tipologia (plàstics, vidre, voluminosos...), i granulometria. Posteriorment la part orgànica de la fracció resta juntament amb alguns impropis passen a la nau de bioestabilització. En aquest cas la nau de bioestabilització consta de dos reactors l'un al costat de l'altre. Aquests són alimentats contínuament per un dels seus extrems, i periòdicament es remou el material mitjançant una rotopala (figura 11), a la vegada que es fa avançar fins a l'altre extrem del reactor. Passades aproximadament unes 6 setmanes el material ja estabilitzat haurà arribat a l'altra punta del reactor on mitjançant la rotopala es retirarà. Aquesta nau es manté en condicions òptimes per tal de que el procés biològic de bioestabilització de la matèria orgànica sigui el més eficient possible. Finalment aquest material es farà passar per procés de refinat, que consisteix en eliminar els elements més grollers mitjançant sedassos d'aproximadament 15mm.

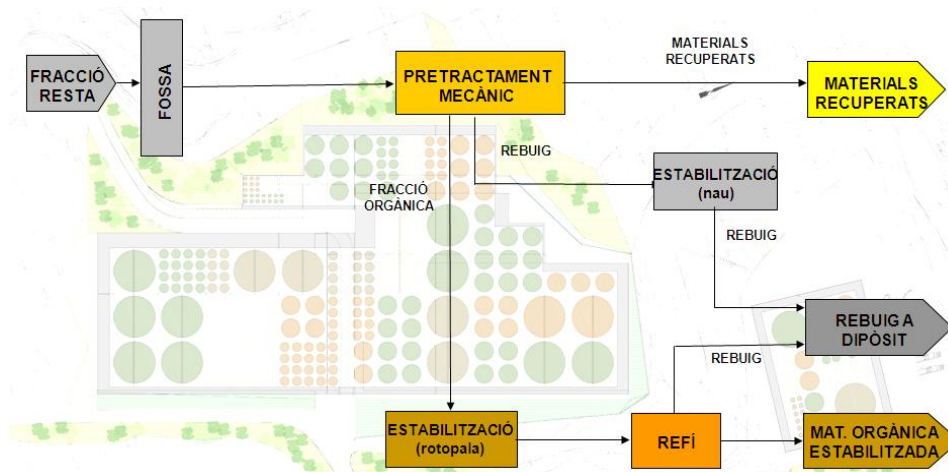


Figura 12. Esquema de la planta de bioestabilització CTR

Per altra banda hi ha la planta de tractament de la FORM, que té una capacitat per a 20.000 t/any ampliables fins a 40.000, on es duu a terme una recuperació prèvia de productes valoritzables i a continuació una metanització amb producció de biogàs per producció d'energia elèctrica.

4.2.2 Mostreig del bioestabilitzat

El material bioestabilitzat de la planta de Mataró usat en aquest treball va ser pres el dia 06/02/2013. Es van prendre uns 25kg aproximadament i es van guardar en un bidó de 50L on s'hi va estar per un període de 8 dies abans de realitzar les mescles amb el sòl abans descrit.

El material bioestabilitzat de la planta de Vacarisses va ser pres el dia 11/02/2013. Es van agafar uns 25kg aproximadament i es van guardar en un bidó de 50L on s'hi va estar per un període de 3 dies abans de realitzar les mescles amb el sòl garbellat a 5mm. A l'hora de mostrejar la pila de bioestabilitzat va sortir una quantitat important de vapor dels forats de mostreig i també es va poder veure que s'havia arribat a formar un polsim d'apariència de cendres. Aquestes observacions, juntament amb la temperatura relativament elevada i la pudor fàcilment perceptible del material, ja són indicadors del seu baix grau d'estabilitat.



Figura 13. A l'esquerra es pot veure vapor sortint de la pila de bioestabilitzat. S'aprecien també les cendres generades a la pròpia pila. A la dreta el mostreig del bioestabilitzat a la planta. Fotografies preses pel V. Carabassa el 11/02/2013.

4.2.3 Anàlisi de les propietats del bioestabilitzat

S'ha dut a terme una caracterització analítica dels dos bioestabilitzats per part de les empreses gestores en laboratoris homologats. L'anàlisi del bioestabilitzat de Mataró ha estat facilitat per Tecnoambiente, i el de Vacarisses per Applus.

Ens els informes analítics incloïen els següents paràmetres: pH, CE, pèrdues per calcinació a 550 i 105°C, matèria orgànica, relació C/N, nitrogen Kjeldah, nitrogen amoniacal, anàlisi del contingut d'impropis, metalls pesants, contaminants orgànics en el cas de l'anàlisi de Mataró...

4.2.3.1 Determinació del contingut d'impropis

El material bioestabilitzat, si be ha estat sotmès a un procés de tamisat, conté encara un cert percentatge d'impropis (vidre, plàstic, pedres, metalls...). Per això s'ha considerat important separar cadascuna d'aquestes fraccions en la mesura del possible.

Per tal de dur a terme aquesta caracterització es van agafar 1,5 kg aproximadament de bioestabilitzat i es van garbellar amb uns sedassos de 10, 5 i 2mm, obtenint les fraccions >10 mm, de 10 a 5 mm, de 5 a 2mm, i una <2mm.

Pel que fa a les fraccions >10mm, 10-5mm i 5-2mm es van separar manualment els impropis, i es van classificar en les següents categories: vidres, plàstics, metalls, pedres i matriu orgànica.

En quant a la fracció <2mm, es va dur a terme una valoració qualitativa, ja que degut a la granulometria era molt difícil quantificar la quantitat d'impropis presents en cada cas.

4.3 Bioassaig

4.3.1 Disseny

S'ha realitzat 4 tractaments (dosis) diferents per a cada bioestabilitzat (x2), i per a cadascun d'ells s'han preparat 3 rèpliques, a més hi ha 3 controls. És a dir, en total hi han 27 mostres. L'experiment s'ha realitzat en uns testos metàl·lics de 12L de capacitat aproximadament.

Els tractaments es diferencien en funció de la dosis de bioestabilitzat aplicada, i de la procedència del bioestabilitzat (Mataró o Vacarisses).

Taula 7. Tractaments assajats en funció de la dosis de bioestabilitzat.

Codi	Dosi (g de bioestabilitzat/kg TF)
C (Control)	0
MD1	10
MD2	20
MD4	40
MD8	80
VD1	10
VD2	20
VD4	40
VD8	80

Nota: Aquests pesos fan referència al pes sec, tant de bioestabilitzat com de terra fina (TF) del sòl emprat. Les rèpliques per cada tractament s'indiquen amb un nº entre la M i la D. (ex: V2D1= rèplica 2 de VD1).

El bioassaig s'ha dut a terme en un dels hivernacles (túnel) dels camps experimentals de la UAB.

4.3.2 Incorporació dels bioestabilitzats al sòl

El 14/02/2013 va començar el muntatge previ dels testos on posteriorment es realitzaran les sèmres.

Es van preparar 27 testos, per tal de poder tenir 3 replicues de cada un dels 4 tractaments que és duran a terme per a cada bioestabilitzat, a més de 3 controls.

Per dur a terme les mescles es va utilitzar un bidó de 50L, on s'hi va posar 28kg de terra garbellada a 5 mm (pes sec) i la quantitat exacta de bioestabilitzat en funció de la dosi que es pretenia aconseguir. Es va homogeneïtzar el contingut del bidó fent-lo voltar varies vegades. Tot seguit es van tarar els testos que tenien una petita quantitat de grava a la base per facilitar el drenatge, i s'omplien amb les mescles bioestabilitzat-sòl preparades. Finalment, es va anotar el pes humit que es va posar en cada test.



Figura 14. Muntatge del bioassaig. El bidó blau és l'utilitzat per realitzar les mescles. Fotografia presa el 14/02/2013 per V. Carabassa.

Taula 8: Dosis de bioestabilitzats assajades i pesos corresponents a cada dosi.

Codi Assaig	Dosis (g/kg)	g bioestabilitzat (pes sec)	g bioestabilitzat Vacarisses (pes humit)	g bioestabilitzat Mataró (pes humit)
C	0	0	0	0
D1	10	280	384,1	359,0
D2	20	560	768,2	718,0
D4	40	1120	1536,5	1436,0
D8	80	2240	3072,9	2872,0

Nota: S'observa que la humitat del bioestabilitzat de Vacarisses és major que la del de Mataró.

4.3.3 Sembra

Per tal d'avaluar els efectes que podria tenir l'aplicació de bioestabilitzat en les plantes es va sembrar una monocotiledònia d'interès agrícola, el blat (*Triticum aestivum*), varietat boticelli, lot 495-12BOT01.

Les condicions de creixement bones per aquesta espècies són (Ruiz, 1981):

- Clima: temperatura mínima de 3 ° C i màxima de 30 a 33 ° C, sent una temperatura òptima entre 10 i 25 ° C.
- Humitat: requereix una humitat relativa entre 40 i 70%; des de l'espigat fins a la collita és l'època que té majors requeriments en aquest aspecte, ja que exigeix una humitat relativa entre el 50 i 60% i un clima sec per a la seva maduració.²²
- Aigua: té uns baixos requeriments d'aigua, ja que es pot conrear en zones on cauen precipitacions entre 25 i 2.800 mm anuals d'aigua, encara que un 75% del blat creix entre els 375 i 800 mm. La quantitat òptima és de 400-500 mm / cicle.
- Sòl: els millors sòls per al seu creixement han de ser solts, profunds, fèrtils i lliures d'inundacions, amb pH entre 6,0 i 7,5; en terrenys molt àcids és difícil aconseguir un adequat creixement.

La sembra va tenir lloc el 21/02/2013. Es van sembrar 15 llavors per test. La sembra es va realitzar curosament, llavor per llavor, per tal de que les llavors quedessin distribuïdes uniformement. Tenint en compte que cada test té una àrea de 0,085m², la densitat de sembra és per tant de 176 llavors/m², densitat semblant a la que se sembra en camps agrícoles (170-220 llavors/m²) segons el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo).

Una vegada germinades, el dia 2/4/2013 és va disminuir la densitat de plantes (aclarida) a 10 plàntules/test, per tal de reduir els biaixos a causa de la competència interespecífica.

4.3.4 Reg i control d'humitat del sòl

Un factor important al llarg de tot el bioassaig es mantenir els diferents testos a un 50% de la capacitat de camp, que és la humitat que es considera bona pel cultiu.

Per definició la **capacitat de camp** o **capacitat de retenció hídrica de camp** és la quantitat d'humitat del sòl o contingut d'aigua que hi ha després que l'excés d'aigua hagi drenat i la taxa de moviment d'aigua cap avall ha disminuït substancialment, cosa que normalment es porta a terme dins de 2-3 dies després d'una pluja o del reg saturi el sòl. En altres paraules, es pot dir que la capacitat de camp és aproximadament la capacitat de retenció d'aigua útil en el sòl.

Per tal de mantenir els diferents testos al 50% de capacitat de camp, es van regar periòdicament cada dos o tres dies.

Taula 9. Pes dels diferents testos al 50% de la seva Capacitat de Camp.

Codi tractament	Pes material sec (kg)	Pes material 50% WHC (kg)
C1	6,974	8,968
C2	7,292	9,376
C3	7,965	10,242
V1D1	7,629	9,809
V2D1	7,984	10,266
V3D1	7,610	9,785
V1D2	7,760	9,977
V2D2	7,573	9,737
V3D2	7,535	9,689
V1D4	7,722	9,929
V2D4	7,292	9,376
V3D4	7,199	9,256
V1D8	6,974	8,968
V2D8	7,199	9,256
V3D8	6,563	8,439
M1D1	7,779	10,001
M2D1	7,348	9,448
M3D1	7,274	9,352
M1D2	7,760	9,977
M2D2	7,292	9,376
M3D2	6,937	8,920
M1D4	7,405	9,521
M2D4	7,423	9,545
M3D4	7,180	9,232
M1D8	6,918	8,895
M2D8	7,236	9,304
M3D8	7,685	9,881

De la meitat del bioassaig fins al final es va dur a terme un control gravimètric de la pèrdua d'aigua dels diferents tractaments.

4.3.5 Mostrejos

Al llarg de tot el bioassaig (21/02/2013 - 28/05/2013) s'han dut a terme una sèrie de mostreigs del sòl i plantes.

Pel que fa als mostreigs del sòl l'objectiu és analitzar algunes propietats fisicoquímiques del sòl esmenat amb bioestabilitzat al inici del bioassaig, i observar com evolucionen. En el mostreig inicial (T0) es va prendre uns 500 g de sòl, els quals es van conservar al laboratori fins el dia en que es van fer les anàlisis. En els mostreigs T2', T2, T3 i T4 es van mostrejar entre 35 i 40 g de sòl (pes humit) dels primers 7 cm de sòl dels testos.

Taula 10. Calendari de mostreigs

Codi	Data mostreig	Observacions
T1	14/02/2013	Mostreig Inicial (sòl)
T1'	08/03/2013	Mostreig exploratori (sòl)
T2	16/03/2013	Primer mostreig (sòl)
T3	29/04/2013	Segon mostreig (sòl + 1 plàntula de cada test)
T4	28/05/2013	Mostreig Final (sòl + biomassa)

Nota: A T1' es va fer un mostreig en 5 testos representatius de tot el bioassaig (C, M2D4, M3D8, V2D4, V3D8). Es van seleccionar les dos dosis altes perquè era on s'esperava que els canvis fossin més ràpids i pronunciats i així poder decidir si fer un primer mostreig.

En quant al mostreig de les plantes, se'n va fer un el dia 29/04/2013 (T3), on es va tallar una planta de mida mitjà per a cadascun dels testos, i un altre al final de bioassaig 28/05/2013 (T4), en les que se'n va determinar el pes fresc i sec de les plantes i les espigues.

4.4 Anàlisis de les mescles sòl-bioestabilitzat

4.4.1 Humitat

Es va calcular la humitat de totes les mostres per gravimetria, assecant el sòl a 105°C.

4.4.2 pH i conductivitat elèctrica (CE)

El càlcul del pH i de la conductivitat també s'ha fet per a tots els tractaments en cadascuna de les rèpliques. El pH s'ha determinat en una suspensió sòl:aigua desionitzada en proporció 1:2,5. La CE s'ha mesurat en el filtrat obtingut d'un extracte 1:5 (p/v) i s'ha expressat com a conductivitat equivalent a 25°C.

4.4.3 Anàlisis de la matèria orgànica del sòl

4.4.3.1 Matèria orgànica per calcinació

Per tal de contrastar els resultats anteriors s'ha dut a terme una altra anàlisis de la matèria orgànica per calcinació a diferents temperatures.

S'ha analitzat una mostra de cada tractament, a més de dues de cada bioestabilitzat, una de les quals estava garbellada a 2mm. Aquestes mostres assecades prèviament a 105°C es posen en un gresol i s'introdueixen a la mufla. Es duen a terme 3 calcinacions, durant 4 hores: una a 375°C, on s'espera eliminar la matèria orgànica més termolàbil; una altra a 550°C, la qual ens proporciona una idea del contingut de matèria orgànica total; i una última a 1100°C per volatilitzar els carbonats i altre components minerals. Un cop finalitzada cada una de les calcinacions és pesen els cresols per tal de

determinar la pèrdua de pes, que ve a ser la quantitat de matèria orgànica volatilitzada.

La matèria orgànica al cremar-se es transforma en CO₂ i vapor d'aigua principalment; per la qual cosa el residu en forma de cendres s'identifica com a matèria inorgànica. Això es vàlid fins a la temperatura de 550°C, a la de 1100°C ja es volatilitzen altres compostos minerals.

Mitjançant la formula següent es calculen els sòlids volàtils a les 3 temperatures:

$$\% \text{ Sòlids volàtils} = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

M1 = pes (g) de la mostra assecada a 105°C

M2 = pes (g) de la mostra a X°C

Aquesta anàlisi s'ha dut a terme per al mostreig (T0).

4.4.3.2 Matèria orgànica dissolta

Per tenir una idea inicial de la matèria orgànica s'ha usat un mètode senzill, que consisteix en mesurar l'absorbància a 440nm dels extractes 1/5 (p/v) preparats per a la determinació de la conductivitat. L'absorbància d'aquests extractes ens dona una aproximació de la matèria orgànica soluble present en cadascun dels tractaments duts a terme.

Per altra banda també s'ha fet una anàlisi de la matèria orgànica soluble utilitzant el mètode descrit a continuació. Es col·loquen 4ml del extracte 1/5 (p/v) en un tub d'assaig, s'hi afegeix 1ml de 66,7mM K₂Cr₂O₇ i 7,5 ml d'una mescla biàcida sulfuric-fosforic, i es posa en un digestor a 150°C durant 30 minuts. A continuació es transvasa el contingut dels tubs d'assaig a un erlenmeyer, amb l'ajuda de 90ml d'H₂O, i es valora amb sal de Mohr 33mM, utilitzant ferroïna com a indicador.

Amb els resultats obtinguts de l'oxidació amb dicromat s'ha elaborat també una recta patró, on s'estableix la relació entre l'absorbància i la quantitat de carboni orgànic soluble.

Aquesta anàlisi s'ha dut a terme per tots els mostreigs de sòl (T1, T2, T3 i T4).

El càlcul de C soluble ens interessa perquè tal i com mencionen *Fox i Piekielek (1978)* en el seu estudi, el C soluble es relaciona amb les reserves orgàniques actives que varien segons la quantitat i la qualitat de material orgànic.

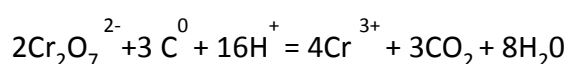
4.4.3.3 Matèria orgànica total (TOC), mètode dicromat

El mètode usat per a la determinació del contingut de carboni i de matèria orgànica dissolta es basa en el procediment de Walkley-Black modificat (*Nelson i Sommers, 1982*) que ens proporciona una bona estimació del C orgànic en una oxidació química

parcial del C orgànic total (*Masaguer, Benito, 2008*). El procediment de Walkley-Black es àmpliament utilitzat ja que es simple, ràpid, i no es necessita molt d'equipament (*R. Canet, F. Pomares 1994*).

El procediment es el següent. Es pesen entre 0,2 i 0,3g de mostra de sòl seca a l'aire i triturada i s'introdueixen en tubs d'assaig de 20mm Ø. S'afegeixen 10ml d'àcid cròmic (K₂Cr₂O₇) a cada tub, i es posen en un digestor a 150°C durant 10 minuts. A continuació es transvasa el contingut dels tubs d'assaig a erlenmeyers de 250ml amb l'ajuda de 90 ml d'aigua destil·lada. Finalment es valora amb sal de Mohr 0'2N i ferroïna com a indicador.

La química d'aquest procés és:



A partir de la següent formula determinem la quantitat de C orgànic (*Essent n el pes de sol en grams, B els mL de sal de Mhor consumits pel blanc i U els mL consumits per la mostra*):

$$C_{org.} \% = \frac{1,2}{n} \times \frac{(B - U)}{B}$$

Es pot estimar el contingut de MO a partir de:

$$\text{MO} (\%) = 1,724 \times \text{C org.} (\%) \rightarrow \text{Si C} (\%) < 5,8$$

$$\text{MO} (\%) = 2,000 \times \text{C org.} (\%) \rightarrow \text{Si C} (\%) > 5,8$$

Aquest mètode, que és una correcció del procediment de Walkley-Black, es digereix a 150°C per tal de que es doni una oxidació completa del C orgànic (*Schumacher, 2002*).

Aquesta anàlisi s'ha dut a terme als mostreigs (T0, T4).

4.4.3.4 Matèria orgànica recalcitrant, mètode HCl

La matèria orgànica del sòl es pot dividir en dues categories: la matèria orgànica làbil o fàcilment biodegradable (*apartat 4.4.3.1*), i l'anomenada recalcitrant o bioresistent. La MO làbil, està formada per MO de baix pes molecular, i és ràpidament assimilada i metabolitzada pels microorganismes. Habitualment aquesta fracció tan sols representa entre 1-20% de la MO dissolta total, i tant sols entre un 1-5% en els sistemes distròfics amb gran contingut de substàncies húmiques. D'aquesta manera la majoria de MO del sòl està en forma de MO recalcitrant, formada per compostos d'alt pes molecular, on dominen diferents biopolímers, com lípids, alguns polisacàrids, i components lignocelulosics derivats de plantes superiors. Aquests últims són altament recalcitrants i estan formats majoritàriament de compostos húmics (*Álvarez, 2005*).

En aquest treball és de gran importància poder determinar amb precisió la proporció entre matèria orgànica làbil i recalcitrant, ja els bioestabilitzats podrien ser usats com esmena orgànica del sòl, i una propietat molt important de qualsevol esmena orgànica

és tenir una proporció elevada de MO recalcitrant. La matèria orgànica més làbil, i per tant la més disponible (carbohidrats hidrosolubles, proteïnes, grasses, etc.), es degradarà ràpidament (*Tortosa, 2011*). El que interessa en una esmena orgànica és que sigui més recalcitrant i que perdurin els seus efectes en el sol durant un període de temps considerable.

Per tal de determinar la proporció de MO recalcitrant es dura a terme una hidròlisi àcida amb HCl.

Els àcids grassos, proteïnes i polisacàrids són susceptibles al tractament de la hidròlisi àcida, mentre que els alquils de cadena llarga, ceres, lignina i altres compostos aromàtics són resistents (*Eldor et al. 2006*).

En la majoria d'estudis de fraccionament d'hidròlisi àcida, l'àcid clorhídric (HCl) és l'agent d'extracció més utilitzat convencionalment (*Belay-Tedla et al. 2009*).

Mitjançant una hidròlisi àcida amb HCl 6M s'aconsegueix eliminar la fracció de MO més làbil (*Rovira i Vallejo, 2002*).

El procediment dut a terme és el següent: amb 20ml de HCl 6M s'ataquen entre 0,5-0,6g de mostra; després de deixar incubant la mostra a 105°C durant 18h, es centrifuga i es separa el sobrenedant del precipitat. El precipitat correspon a la MO resistent a la hidròlisi, és a dir els compostos més recalcitrants (lignines, substàncies húmiques, etc.) (*Silva, 2006*). A continuació es determina el % de carboni orgànic present al precipitat pel mètode del dicromat descrit anteriorment.

Establint la relació entre C total, i C calculat per aquest mètode s'obté el % de C recalcitrant.

Aquesta anàlisi s'ha dut a terme per als mostreigs (T0, T4).

4.4.4 Taxa de respiració del sòl (respirometria)

La respiració es considera una mesura de l'activitat biològica. Aquest paràmetre pot proporcionar una mesura fiable i repetitiva de l'activitat microbiana d'un sòl. Les tècniques respiromètriques consisteixen en la mesura del O₂ consumit o del CO₂ produït pels microorganismes heteròtrofs aerobis que hi ha en un sòl, i en conseqüència són indicadors de l'activitat biològica d'un material.

El mètode utilitzat per mesurar quantitativament la respiració, ha estat determinar l'evolució del CO₂ per captació alcalina durant un determinat període d'incubació.

S'han utilitzat uns pots de vidre de 1L, que tanquen hermèticament. S'hi ha introduït una petita quantitat de aigua a la base per tal de que les mostres es mantinguin en bones condicions d'humitat durant tot el període d'incubació, el qual serà a les fosques

hi a una temperatura de 20°C. La data d'inici va ser el 19/02/2013, i la de finalització el 06/06/2013.

El procediment es el següent:

1. Al interior dels pots de vidre s'hi introdueix un pot de plàstic amb una quantitat de sòl humitejat, que al final de la respirometria en determinarem el pes sec.
2. Al mateix pot de vidre s'hi introdueix un altre pot de plàstic amb 10ml d'una solució de NaOH 1M. Aquesta solució s'encarrega de capturar el CO₂ respirat, i posteriorment serà valorada amb HCL 0'5M, utilitzant fenolftaleïna com a indicador.
3. Aquest procediment l'apliquem a tots els tractaments, a més dels 3 controls, i 3 blancs.

Inicialment la taxa de respiració s'espera que sigui elevada i a mesura que passa el temps aquesta disminueix, perquè la quantitat de matèria orgànica a degradar és menor i per tant també ho és l'activitat microbiana. Per això, al principi de la incubació es canvien els pots de NaOH cada uns tres dies, però a mesura que avança la incubació s'amplia el període.

4.4.5 Concentració de cations i anions solubles

A partir dels extractes utilitzats per a la mesura de la conductivitat (1:5), es van quantificar les concentracions d'anions i cations solubles. Es va utilitzar un cromatògraf de ions integrat (*DIONEX® DX-100 Ion Chromatograph system*). Va ser necessari diluir 10 vegades els extractes del sòl per tal d'ajustar la mesura a les concentracions dels patrons de anions i cations preparats, dintre del rang de linealitat del mètode. Les dades i els càlculs de les concentracions es van dur a terme amb el software integrat a l'equip.



Figura 15. Cromatògraf utilitzat per a la determinació d'anions i cations presents en l'extracte del sòl.

Aquesta anàlisi s'ha realitzat al mostreig (T2).

4.5 Assaig de germinació

Es va dur a terme en unes safates metàl·liques de mides 10x20cm, on s'hi van sembrar llavors de 3 espècies diferents: raigràs (*Lolium perenne*), enciam (*Lactuca sativa*) i alfals (*Medicago sativa*) amb la finalitat de cobrir una varietat de grups de plantes cultivades.

Es van preparar 27 safates, per tal de dur a terme un assaig per cada espècie en cada tractament, a més del control. A cada safata s'hi van sembrar meticulosament 50 llavors. Pel que fa al assaig de germinació amb raigràs, va començar el dia 15/03/2013 i va finalitzar el 2/04/2013. El d'enciam i alfals van començar el 18/03/2013, i van finalitzar el 2/04/2013. Periòdicament es van fer mesures de les llavors germinades que eren arrencades en el mateix moment, per evitar ser comptades de nou.



Figura 16. Assaig de germinació. Fotografia presa pel S. Cortes el 28/03/2013.

4.6 Evolució del desenvolupament de les plantes a l'experiment de l'hivernacle

4.6.1 Germinació

Des de l'inici de les sèmbrs es va realitzar un seguiment de la germinació als testos, durant 3 setmanes. Es va mesurar el nombre de llavors germinades i la data, per tal de veure si es produïa algun retard en algun tractament.

4.6.2 Elongació

Un mes més tard de les sèmbrs, quan a la majoria de plantes ja s'hi observava les primeres fulles es va fer el primer control d'elongació. Amb un regle es va mesurar l'alçada de cada planta des de la base fins a la punta de la fulla més alta.

Els controls es van dur a terme a les següents dates: 21/03/2013, 10/04/2013, 18/04/2013. Es va suspendre la mesura de l'elongació en el moment en que les plantes van deixar de créixer únicament en altura.

4.6.3 Biomassa aèria en un estadi entremig del bioassaig

El dia 29/04/2012, 67 dies després del inici del bioassaig, és va dur a terme el primer mostreig destructiu. Es va tallar per la base una planta de mida mitjana de cadascun dels tractaments, es va introduir en uns sobres prèviament assecats a l'estufa a 105°C i es va pesar (pes fresc). A continuació es van posar a assecar els sobres amb les plàntules, a l'estufa a 105°C. Al cap de 14h es van retirar i es van a pesar a la balança de precisió (pes sec).

4.6.4 Espigació

A partir del dia en que es va observar que les plantes començaven a espigar es va dur a terme un control consistent en comptabilitzar les espigues totals per a cada tractament.

4.6.5 Biomassa final

El dia 28/05/2013, 96 dies després de l'inici del bioassaig, es va fer la collita final del blat. Per una banda es van tallar totes les espigues produïdes per cada tractament i es van guardar separades en sobres prèviament assecats a 105°C. Per altra banda es van tallar totes les plàntules de cada tractament, per la base, i també es van guardar amb un sobres assecats a 105°C. Es va utilitzar un sobre diferent per a les espigues i les plantes de cada tractament. Al arribar al laboratori es van pesar (pes fresc). Tot seguit es van posar a assecar tots els sobres a l'estufa a 105°C. Al cap de 36h es van retirar i es van a pesar a la balança de precisió (pes sec).

Aquesta anàlisi ens permetrà determinar quantitativament el creixement del blat i la seva producció en funció de la dosi de bioestabilitzat aplicada.

4.6.6 Quantificació de pigments fotosintètics

La quantificació dels pigments fotosintètics, concretament clorofil·les a i b, i carotens s'ha dut a terme seguint el mètode proposat per *Lichtenthaler i Wellburn (1983)*.

El procediment dut a terme és el següent: es van pesar entre 190-210mg de fulla per a cada tractament (en tots els casos es seleccionava la fulla bandera). Aquesta fulla amb l'ajuda de CaCO_3 es va triturar en un morter a la vegada que hi afegia 2ml d'acetona anhidra, i 2ml d'acetona al 80%. L'extracte obtingut es va filtrar per gravetat, i es va posar en un matràs aforat de 25ml. Es va enrasar el matràs amb acetona al 80%, i es va homogeneïtzar. A continuació es va mesurar l'absorbència amb un espectrofotòmetre a 660, 645 i 470nm. Tot aquest procediment es va fer el més ràpid possible i en condicions de penombra per tal d'evitar l'oxidació dels pigments fotosintètics.



Figura 17. Exemple fulla bandera, del tractament M2D2.
Fotografia presa el 28/05/2013 per S. Cortés.

Mitjançant les equacions següents proposades per *Lichtenthaler i Wellburn* (1983), es va calcular la concentració de pigments a les fulles:

$$Cl_a: (12,21 * A_{660}) - (2,81 * A_{645})$$

$$Cl_b: (20,13 * A_{645}) - (5,03 * A_{660})$$

$$\text{Carotenos totals} = (1000 * A_{470}) - (3,27 * Cl_a) - (104,4 * Cl_b) / 229$$

La fulla va ser presa el dia 28/05/2013, coincidint amb la collita final per a la determinació de la biomassa de les plantes.

5. RESULTATS I DISCUSSIÓ

En aquest capítol es presenten els resultats obtinguts al llarg de tot el bioassaig, així com la discussió d'aquests. Es pretén justificar que l'aplicació de material bioestabilitzat en el sòl millora algunes propietats d'aquest i pot estimular el creixement de la vegetació.

5.1 Caracterització dels bioestabilitzats

Els dos materials han estat produïts per processos similars (*veure apartat 4.2.1*). En les analítiques facilitades per les plantes s'observen unes característiques físicoquímiques força similars (taula 11). Els dos bioestabilitzats que es caracteritzen per un baix grau d'estabilitat (grau I, Test de Rottegrade), típic d'un material que no ha completat el procés de compostatge.

Taula 11. Propietats del bioestabilitzat de la planta Mataró (BM) i del de la planta de Vacarisses (BV).

Determinació	Resultats BM	Resultats BV	Unitats
HUMITAT 105°C *	22	27,1	% r. pes humit
pH (ext. 1:5 H ₂ O) *	7,52	6,77	
COND. ELECT. A 25°C *	10,9	10,84	dS/m
PÈRDUA A 375°C *	67	59,6	%
PÈRDUA A 550°C *	69,6	62	%
N KJELDAHL	2,1	1,82	%
N AMONICAL	0,14	0,33	%
REALACIÓ C/N	12	13,1	
FOSFOR (P)	-	0,55	%
POTASSI (K)	-	0,76	%
CALCI (Ca)	-	6,44	%
MAGNESI (Mg)	-	0,85	%
FERRO (Fe)	-	1,23	%
CADMI (Cd)	0,52	1,1	mg/Kg
COURE (Cu)	115	347	mg/Kg
NIQUEL (Ni)	24	48	mg/Kg
PLOM (Pb)	57	220	mg/Kg
ZINC (Zn)	228	541	mg/Kg
MERCURI (Hg)	0,49	0,52	mg/Kg
CROM (Cr)	27	40	mg/Kg
DENSITAT APARENT	-	383	kg/m ³

(*) Paràmetres determinats al laboratori

Nota: Les anàlisis del BM les ha dut a terme Tecnoambiente, i les del BV, Applus.

Tot i aquesta similitud entre ambdós materials, existeixen unes poques diferències en alguns paràmetres clau. La principal diferència fa referència a la concentració de metalls pesants. Aquesta és major al bioestabilitzat de Vacarisses, arribant a superar els nivells fixats pel RD 824/2005 per a composts classe C (els de més baixa qualitat) pel Cu i el Pb.

Per altra banda, l'anàlisi de les dades facilitades per les empreses gestores d'ambdues plantes pel 2011 en el cas de la planta de Mataró i una evolució del 2012 pel que fa a Vacarisses, denoten una variabilitat important entre partides, la qual cosa suposa una limitació important a l'hora de fer generalitzacions a nivell de planta (*veure Annex, taules 19, 20 i 21*).

La taula 12 ens mostra el contingut d'impropis en percentatge respecte el pes total que s'ha obtingut en analitzar de manera meticulosa dues mostres de més de 1kg de material bioestabilitzat.

En el bioestabilitzat de Mataró (BM) el contingut d'impropis determinat al laboratori contrasta amb el que ha estat facilitat per a la planta. Mentre que al laboratori es va determinar un 4,09% d'impropis, a les analítiques de la planta tant sols es contempla un 1,23%. En quant al bioestabilitzat de Vacarisses (BV) els resultats facilitats per la planta concorden més amb els obtinguts (1,13% front el 1,57% determinat al laboratori). Tot i això s'observa que en ambdós casos s'ha infraestimat aquesta dada la qual cosa fa pensar en què s'hagi pogut realitzar una selecció de la mostra analitzada o un garbellat previ a la determinació dels impropis que hagi provocat la disminució relativa de part d'aquests materials.

Taula 12. Distribució del contingut d'impropis als bioestabilitzats de Mataró i Vacarisses

	BM	BV
Pedres	0,57	0,05
Metalls	0,00	0,18
Vidres	3,16	0,19
Plàstic	0,36	1,15
Total impropis	4,09	1,57

Analitzant una mica més els resultats, en el BM trobem un percentatge de vidres molt elevat, la qual cosa ens indica que per a la partida que va ser mostrejada el procés de separació inicial no va ser del tot correcte, o que la proporció de vidres en el residu inicial era molt elevada (cal tenir en compte la heterogeneïtat de la fracció resta dels RSU). Cal tenir en compte que en la visita per la planta se'ns va informar de que la producció de bioestabilitzat es troba en una fase de consolidació i és per això que en alguns casos aquest producte pot tenir algunes deficiències. En aquest mateix bioestabilitzat hi ha una fracció molt important d'elements fibrosos que no trobem en el BV, i es creu que prové de tota la indústria tèxtil que trobem a Mataró (Maresme), la qual no hi es al Vallès Occidental.

Pel que fa al BV trobem un percentatge major de plàstics, i la presència d'elements metàl·lics a diferència del bioestabilitzat de Mataró que no se n'ha observat cap.

Durant la realització de les mesclures de bioestabilitzat amb sòl en la mostra seleccionada del BM és va detectar la presència d'una pila.



Figura 18. Pila trobada en la mostra de bioestabilitzat de Mataró. Fotografia presa per S. Cortés el dia 14/02/2013.

5.2 Efecte del bioestabilitzat sobre les propietats fisicoquímiques del sòl

A l'apartat de mètodes s'ha descrit el sòl utilitzat en aquesta prova. Es tracta d'un sòl calcari, pobre en matèria orgànica. A continuació es presenten els resultats d'haver incorporat els bioestabilitzats a aquest sòl.

5.2.1 Efectes sobre la capacitat de retenció d'aigua (WHC)

A la taula 13 s'observen els valors de la capacitat de retenció d'H₂O del sòl sense haver aplicat cap tipus de material, i del sòl esmenat amb diferents dosis de bioestabilitzat. Únicament s'observen diferències significatives respecte el control en les dosis més elevades, tant pel que fa al BV com el BM. En la dosi MD1 i MD4 i la dosi VD2 observem que malgrat la retenció d'aigua és una mica menor, en cap cas són valors estadísticament significatius en el test Fisher's PLSD (p-valor<0,05).

Taula 13. Valors de la capacitat de retenció d'aigua del sòl (WHC).

Tractament	WHC (%)	Std. Dev. ±	ΔWHC (%) respecte C	p-Value
C	57,16	0,84	-	-
MD1	54,75	6,58	-2,40	0,5886
MD2	62,33	1,18	5,18	0,2578
MD4	54,13	1,05	-3,03	0,4977
MD8	71,97	6,92	14,81	0,0072 s
VD1	57,49	5,34	0,34	0,9388
VD2	55,93	0,81	-1,22	0,7823
VD4	59,09	6,03	1,94	0,6620
VD8	73,13	2,37	15,97	0,0047 s

Nota: S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, p-valor=0,0093). La lletra "s" marca que existeixen diferències significatives entre el control i el tractament en qüestió.

Segons (Hernando et al., 1989) existeix una relació positiva entre l'aplicació de compost al sòl i la capacitat de retenció d'aigua, en el nostre cas considerem que els efectes del bioestabilitzat seran molt similars als del compost. On es nota més aquest efecte és en aquells sòls amb textura gruixuda, de fet, en sòls molt argilosos pot existir una relació negativa en alguns casos (Krull et al., 2004). En aquest cas el sòl del qual es parteix té una textura franca (23-52% sorra, 28-50% llims, 7-27% argila), molt pròxima a la franco-argilosa (veure apartat 4.1), és a dir que estem parlant d'una textura mitjana, probablement aquesta sigui la raó per la qual únicament on s'observin diferències significatives sigui en la dosi més alta, ja que el sòl de per sí reté una quantitat d'aigua força elevada.

Un tret que crida l'atenció és que el cas de MD4 doni un valor menor a les dosis inferiors. Aquest fet es podria explicar degut a que les anàlisis es van dur a terme al poc temps d'haver realitzat les mescles, i a part de l'heterogeneïtat del material i de les mescles, és possible que no hagués transcorregut el temps suficient per a la formació d'agregats que milloressin l'estructura del sòl.

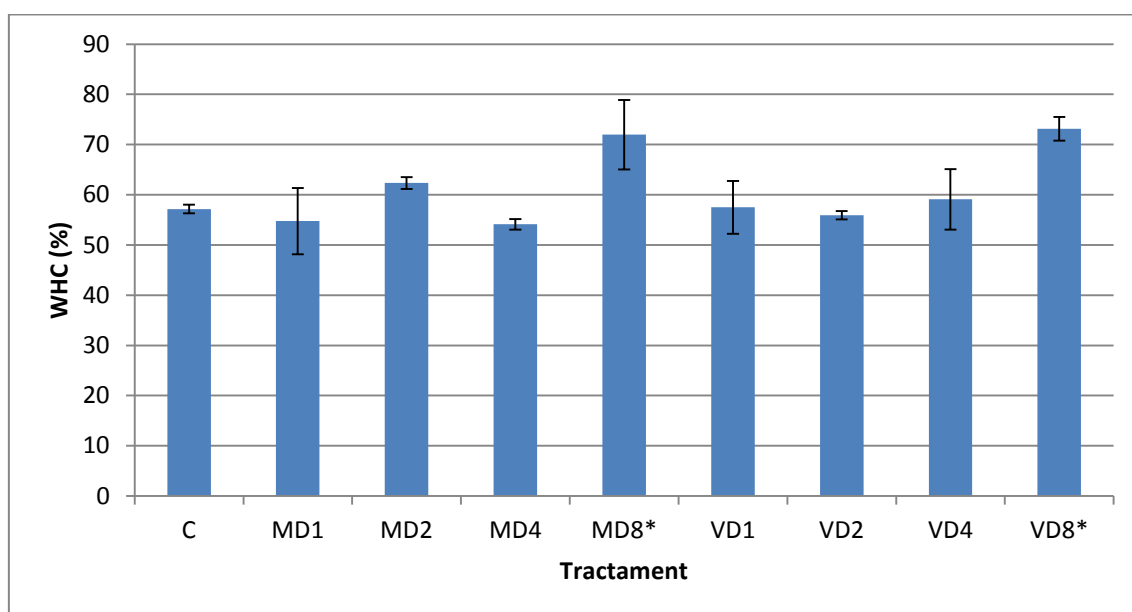


Figura 19. Capacitat de retenció d'aigua del sòl en funció de la dosi de bioestabilitzat aplicada. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}=0,0093$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

5.2.2 pH

Al llarg del bioassaig s'esperava un canvi en els valors de pH. A la figura 3 podem observar que l'evolució del pH ha estat més aviat poca. Pel que fa al sòl control (C), i a les dosis baixes de bioestabilitzat, tant de Mataró com Vacarisses, observem una lleuger descens del pH, però a les dosis més altes el pH pràcticament no varia (en alguns casos es major la desviació estàndard que no pas la diferència entre els períodes de mostreig).

En quant a la variació del pH en funció de la dosi de bioestabilitzat aplicada si que s'observen petites diferències, especialment si prenem els valors de T2. Tenim una variació del pH de 0,5 unitats entre el C (8,52) i la dosi més alta de Vacarisses (8,02), i una variació de 0,37 unitats entre el C i la dosi més alta de Mataró (8,15), degut al menor pH del bioestabilitzat respecte del sòl.

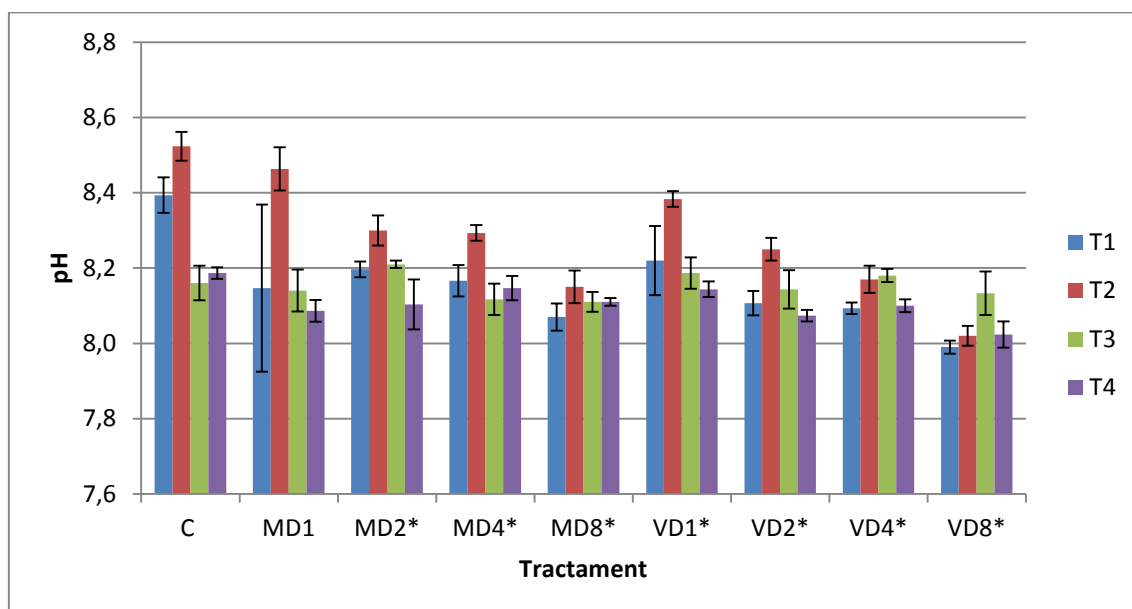


Figura 20. Evolució del pH al llarg del bioassaig. S'ha mesurat per als 4 mostreigs que es van dur a terme (veure codis dels mostreigs a la taula 10). S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$) per a T2. Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb: *.

Considerem els valors de T2 com els més representatius degut a que durant tot el bioassaig es va regar constantment i com a conseqüència d'això es podria haver produït un lleuger rentat dels primers 5 cm de sòl, que és a la porció de sòl que s'analitza (de 0 a 7cm). A T2 tan sols havien passat 23 dies des de l'inici del bioassaig i la pèrdua d'aigua per evapotranspiració (ET) i evaporació era encara poca degut a que les temperatures encara eren baixes i les plantes no havien crescut gaire, per tant no era necessari regar amb molta freqüència ni amb molta quantitat d'aigua.

De totes maneres el fet de que hi hagi poca variació del pH, especialment en les dosis elevades, pot tenir molt a veure en els resultats d'elements solubles, on s'han obtingut uns valors molt abundants de calci (Ca^{2+}) i altres bases que determinen en gran part la capacitat amortidora del sòl (veure taula 16 i 17).

5.2.3 Salinitat

La conductivitat elèctrica ens proporciona una idea del contingut de sals. A la figura 21 podem observar com evoluciona la conductivitat al llarg del bioassaig, així com la diferència en funció de la quantitat de bioestabilitzat aplicada.

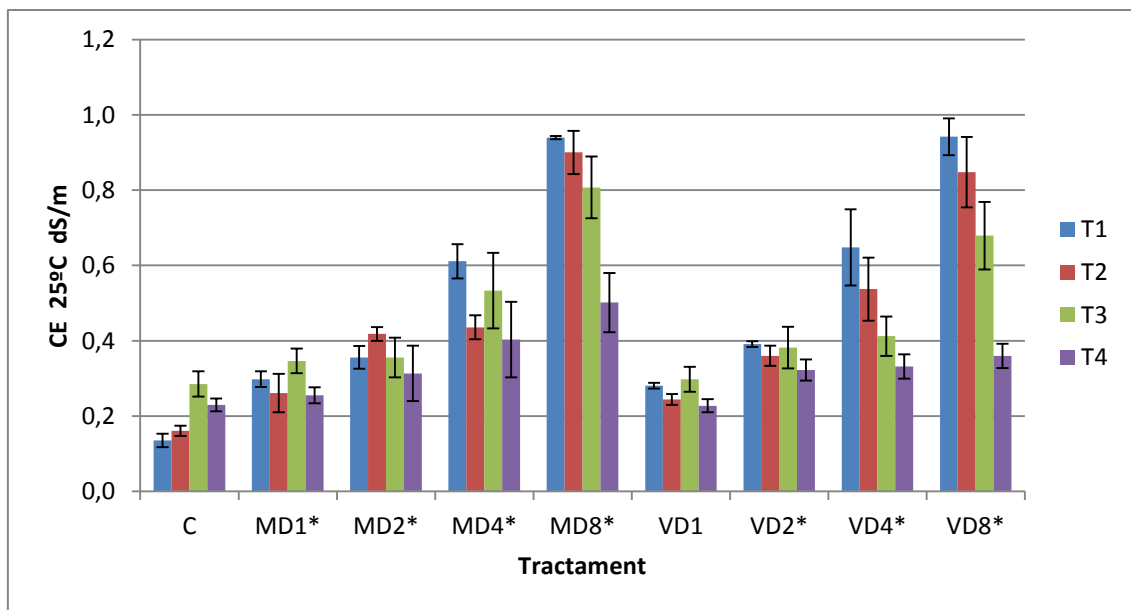


Figura 21. Evolució de la conductivitat al llarg del bioassaig. S'ha mesurat per als 4 mostreigs que es van dur a terme (veure codis dels mostreigs a la taula 10). S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$) per a T2. Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

Hipotèticament els valors de la conductivitat haurien d'haver augmentat al llarg del temps en tots els casos degut a una mineralització de la matèria orgànica, i alliberació de sals minerals com ions potassi i amoni (Venglovsky *et al.*, 2005). No obstant, en tots els tractaments, s'ha donat un descens d'aquesta excepte en el control, fet que es podria explicar degut a un possible rentat del sòl a la part superficial. L'augment que es dona en el control pot ser degut a que l'efecte de rentat hagi estat menor que l'aportació d'ions deguda a la mineralització de la matèria orgànica del sòl. Això és possible tenint en compte la baixa capacitat d'infiltració del sòl control. En canvi, als tractaments amb bioestabilitzat, es produeix una millora de l'estructura que millora la capacitat d'infiltració. En els sòls esmenats amb bioestabilitzat també hi ha una major extracció de nutrients per part de les plantes (*més biomassa, veure apartat 5.3.6*) i també s'hi podria donar una immobilització microbiana (la fauna edàfica és major en els sòls amb un contingut de matèria orgànica elevat).

En quant a la variació de la salinitat en funció de la dosi de bioestabilitzat aplicada si que s'observa clarament una tendència a l'augment. Existeixen diferències significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en tots els tractaments excepte en VD1 ($p\text{-value}=0,0643$). Aquest efecte es provocat pel contingut de sals dels bioestabilitzats, que és de dos ordres de magnitud superior a la del sòl. Especialment a les dosis MD8 i VD8 s'arriba fins a uns valors de CE que tractant-se d'un extracte 1:5 són valors elevats, on ja podem considerar una possible aparició de problemes deguts a la salinitat.

5.2.4 Matèria orgànica

5.2.4.1 Aproximació al contingut de matèria orgànica per calcinació (sòlids volàtils a 550°C)

Els resultats obtinguts a partir de la calcinació del material a 550°C (figura 22) són una estimació de la matèria orgànica total (MOT). Si observem aquests resultats i els comparem amb els obtinguts amb una oxidació amb dicromat (figura 23) observem la mateixa tendència: una relació positiva entre el percentatge de matèria orgànica i la quantitat de bioestabilitzat aplicada. De la mateixa manera a la figura 23 s'observa un major contingut de matèria orgànica en els tractaments esmenats amb BM.

Els resultats de matèria orgànica total obtinguts per aquest mètode són superiors als obtinguts amb una oxidació amb dicromat, però cal tenir en compte que a aquesta temperatura es volatiliza el 100% de la matèria orgànica, a més d'una petita proporció de carbonats i altres components minerals. Llavors, més aviat que una quantificació, aquest mètode el que ens proporciona és una idea del contingut de matèria orgànica, la qual ens servirà per complementar els resultats obtinguts amb l'oxidació amb dicromat.

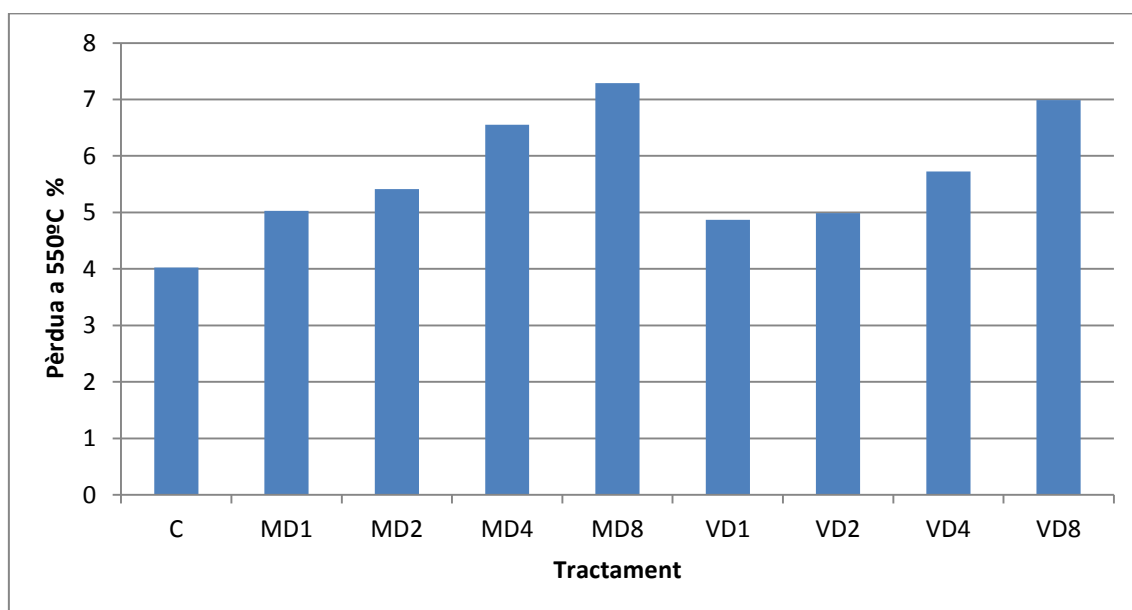


Figura 22. Percentatge de la pèrdua de pes de la mostra per calcinació a 550°C. Aquesta anàlisi s'ha dut a terme a T1. En aquest cas no s'ha dut a terme cap test ANOVA per falta de rèpliques.

5.2.4.2 Carboni orgànic total (TOC)

La figura 23 ens mostra quina ha estat l'evolució del carboni orgànic total al llarg de tot el bioassaig. S'observa que passats els 3 mesos que ha durat el bioassaig el contingut de carboni ha disminuït significativament, això és degut a que s'ha produït una mineralització de la matèria orgànica més làbil, i una absorció per part de les plantes. Cal tenir en compte que per aquest mètode la matèria orgànica equival al carboni total multiplicat per 1,724.

Una de les deficiències que presenta aquest mètode és que sovint es produeix una infraestimació del contingut de matèria orgànica, a causa d'una oxidació incompleta del carboni orgànic (per exemple el carbó vegetal es força resident a l'oxidació amb dicromat).

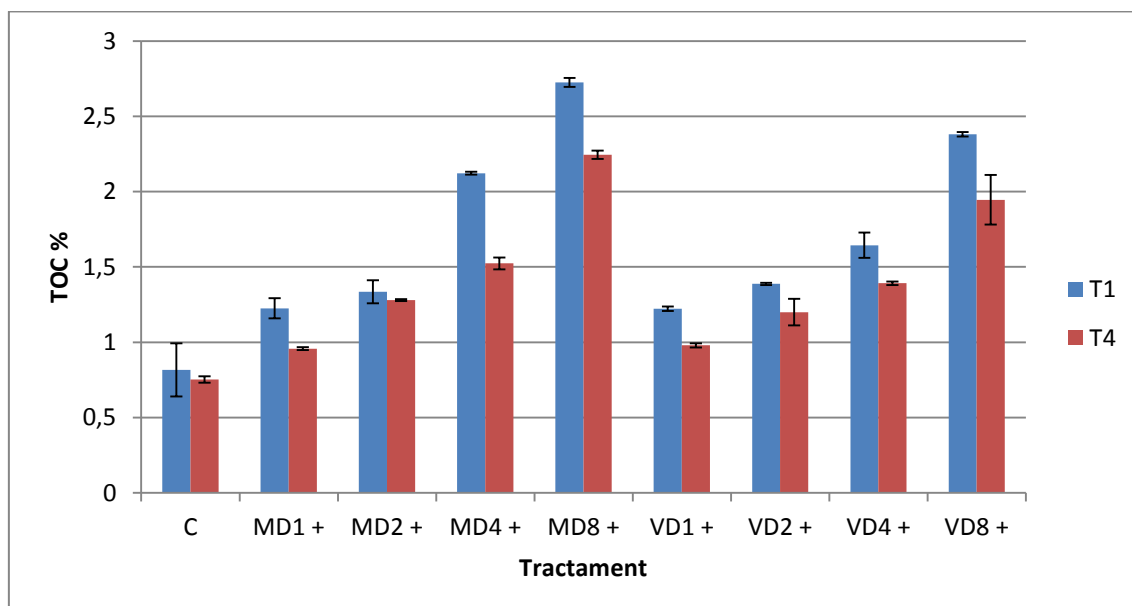


Figura 23. Evolució del TOC des de l'inici al final del bioassaig. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$). Prenent com a referència C es mostren diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) de la següent forma: *diferències a T1, **diferències a T4, + diferències a T1 i T4.

S'observa clarament que el TOC augmenta de manera proporcional a la dosi de bioestabilitzat, tant pel que fa al de Vacarisses com el de Mataró. En el test ANOVA dut a terme, prenent com a referència les dades del control ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en tots els casos existeixen diferències significatives. Aquest augment proporcional a la dosi es degut a que el material bioestabilitzat conté un elevat contingut de matèria orgànica (*veure apartat 5.1*).

Si comparem entre els dos bioestabilitzats s'observa una aportació de carboni major en el cas del sòl esmenat amb BM. Aquesta diferència s'observa principalment a les dosis més elevades (80g/kg i 40g/kg). En el test ANOVA dut a terme existeixen diferències significatives a T1 en els tractaments D4 i D8 (*veure taula 8*), i a T4 únicament trobem diferències significatives a D8. En les analítiques proporcionades i les dutes a terme al laboratori (*veure apartat 5.1*), s'observa un major contingut de matèria orgànica en el bioestabilitzat de Mataró, per tant és d'esperar obtenir el mateix resultat en les mesclures.

En la bibliografia consultada trobem que l'addició al sòl de compost procedent del tractament mecànic i biològic, és a dir bioestabilitzat, contribueix a augmentar el contingut de matèria orgànica del sòl (*Shabani et al., 2011*)(*Roca-Fernández, 2013*)(*García-Gil et al., 2004*).

5.2.4.3 Matèria orgànica recalcitrant (C-HCl)

A la figura 24 trobem el percentatge de carboni considerat recalcitrant respecte el TOC. Passats els tres mesos podem observar que el contingut relatiu de carboni recalcitrant ha augmentat, si bé en valor absolut aquest carboni també ha disminuït ja que s'ha anat degradant cap a formes més làbils les quals a la vegada s'han anat mineralitzant, tal i com s'observa a la figura 23. En el cas del control no trobem una variació en la proporció del C més recalcitrant, encara que cal destacar l'elevada desviació estàndard inicial. De mitjana, per a tots els tractaments amb bioestabilitzat, la quantitat de C-HCl que ha passat a formes més làbils durant aquests tres mesos d'incubació està al voltant de 0,5 g C-HCl/kg sòl.

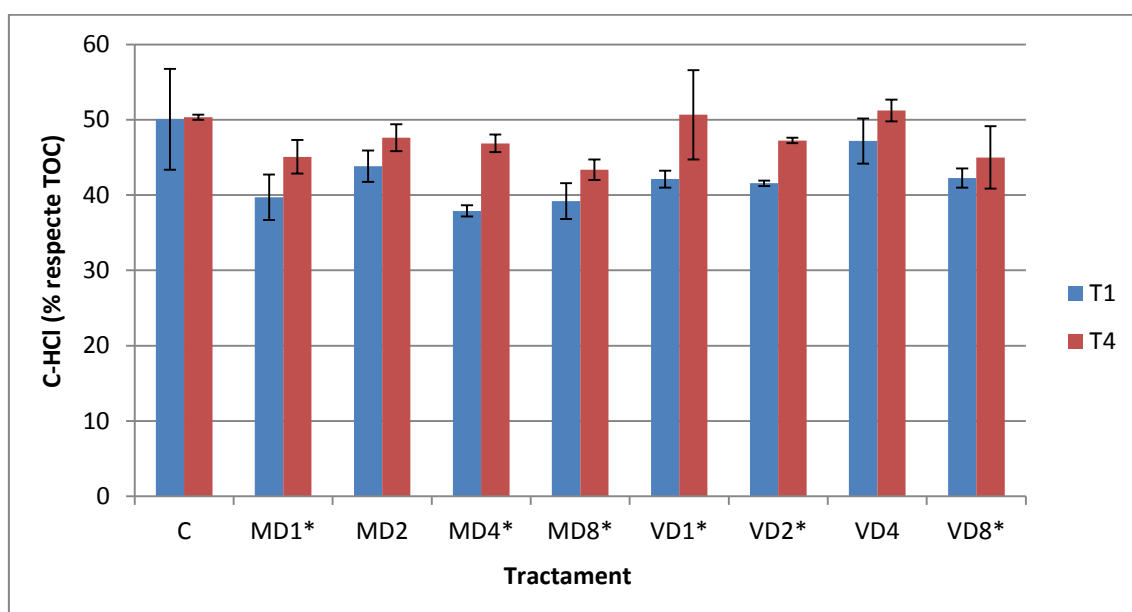


Figura 24. Evolució del C no hidrolitzable (C-HCl) des del l'inici al final del bioassaig. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}=0,0376$) per a T1, i un altre per a T4 ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}=0,3913$). Prenent com a referència C es mostren diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) de la següent forma: *diferències a T1, **diferències a T4, + diferències a T1 i T4.

En la proporció de carboni recalcitrant en funció de la dosi, el test ANOVA dut a terme per a T1 indica que no s'observen diferències significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) entre els tractaments on s'ha aplicat alguna dosi de bioestabilitzat. On si que s'observen diferències significatives és si comparem les diferents dosis amb el control. En pràcticament tots els tractaments excepte en MD2 i VD4 a T1 la proporció de carboni recalcitrant es menor, això es degut a que el material bioestabilitzat, tal i com podem veure a les analítiques proporcionades (*veure apartat 5.1*) i (*Annex*), és un material que conté una proporció elevada de matèria orgànica làbil. Per a T4 no s'observen diferències significatives en cap cas.

L'addició de compost procedent de RSU comporta un increment significatiu de la fracció més làbil (*Turrión et al., 2008*)(*Zhao et al., 2011*). Tanmateix això únicament es

pot demostrar, en aquest cas, si comparem qualsevol dosi amb el control. Entre les dosis de bioestabilitzat no s'observen diferències significatives, en tots els casos trobem al voltant d'un 40% de C recalcitrant a T1 i al voltant d'un 45% a T4.

Si es resta el TOC i el C-HCl procedent del sòl original als tractaments esmenats amb bioestabilitzat s'obté aquell carboni que aporta la fracció orgànica del bioestabilitzat (taula 15). Analitzant aquestes dades veiem que, de mitjana, el carboni orgànic procedent del bioestabilitzat presenta un 33% de C resistent a la hidròlisi. Si expressem les dades en funció de l'origen del bioestabilitzat, veiem que les mostres de sòl tractades amb BV presenten, de mitjana, un 35% de C resistent a la hidròlisi respecte el carboni proveït pel bioestabilitzat (17% del TOC). Per contra, les mostres tractades amb BM presenten de mitjana només un 30% de C resistent a la hidròlisi respecte el carboni proveït pel bioestabilitzat (16% del TOC). Aquestes dades ens indiquen que el BV presenta una lleugera major estabilitat de la fracció orgànica que el BM.

Taula 14: TOC i C-HCl procedent del bioestabilitzat per a cadascun dels tractaments (descomptant el del control).

Tractament	TOC bioest. (%)	C-HCl bioest. (%)	C-HCl bioest. / TOC bioest. (%)
MD1	0,41	0,08	20
MD2	0,52	0,18	35
MD4	1,31	0,4	31
MD8	1,91	0,66	35
VD1	0,41	0,11	28
VD2	0,57	0,17	30
VD4	0,83	0,37	45
VD8	1,56	0,6	39

Una possible causa que podria afectar els resultats és que el C. orgànic en contacte amb el sòl pot augmentar la seva resistència a la hidròlisi per unió amb argiles (*Glaser et al., 2001*). Si tenim en compte que el % d'argiles del sòl és considerable, aquesta també és una de les causes per la qual s'observa un increment del caràcter resistent del C en el sòl passat un determinat període de temps.

5.2.4.4 Descomposició de la matèria orgànica, mineralització del carboni orgànic

Els resultats obtinguts en les respirometries dutes a terme al llarg de 64 dies ens proporcionen una idea de la taxa de mineralització del carboni orgànic present en el sòl control, i en tots els tractaments.

A la figura 25 s'observa la taxa respiratòria del sòl control. És una taxa molta baixa degut a la poca quantitat de matèria orgànica làbil. No s'observa una clara estabilització de la corba, i això pot ser degut a que tenint en compte la poca quantitat de matèria orgànica es possible que s'hagi arribat a un punt d'equilibri on la quantitat de matèria làbil sigui aquella que prové de la descomposició d'aquella més recalcitrant,

donant així una tendència lineal. Tampoc s'observa una estabilització per esgotament del C.

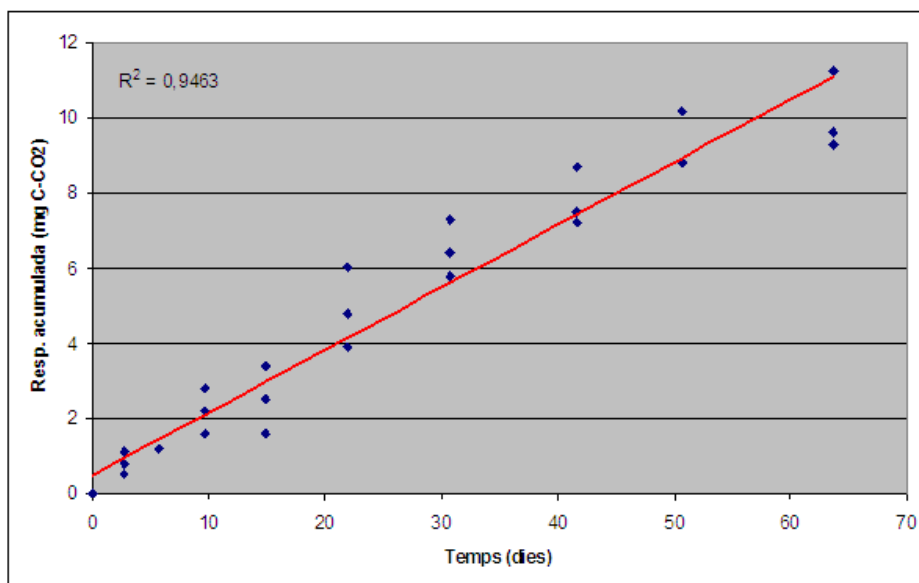


Figura 25. Respiració acumulada al sòl control al llarg de la incubació.

Segons (Wolkowski, 2003) les propietats (físiques, químiques i biològiques) del compost de RSU influeixen en el procés de mineralització de la matèria orgànica del sòl. En aquesta mineralització, a part de la del C, també s'hi contempla la del N, i altres nutrients.

En la figura 26 es mostra la respiració acumulada en els diferents tractaments. S'observa un clar augment de la taxa de respiració en funció de la quantitat de bioestabilitzat aplicada, la qual cosa concorda amb la resta d'anàlisis de matèria orgànica que indiquen que el bioestabilitzat conté una elevada proporció de carboni làbil, i com s'indica en (Pérez, 2008) fa augmentar la taxa de respiració.

Com ja s'ha dit, la taxa de respiració del control és molt petita, 20 vegades menor que en MD8, i encara més si prenem el valor de VD8. Si comparem la respiració acumulada de MD8 i VD8 observem que és major en el cas del BV (figures 27 i 28). Aquesta dada no es correspon amb les obtingudes en les anàlisis de TOC, que donaven que el contingut de matèria orgànica era major en sòl esmenat amb BM, de la mateixa manera que tampoc es correspon amb el grau d'estabilitat del compost ja que en l'anàlisi del carboni recalcitrant ens mostra un % major encara que no significatiu en el BV. D'acord amb (Pérez, 2008), la qualitat de la matèria orgànica està totalment relacionada amb el grau d'estabilitat. Un grau d'estabilitat elevat implica una percentatge de carboni recalcitrant també elevat. Aquesta incongruència però, únicament la trobem en aquesta dosi, en la resta trobem una respiració acumulada major en el BM. Cal tenir en compte l'elevada dispersió de les dades que hi ha en VD8. Aquests resultats es poden explicar amb que en el moment d'agafar les mostres per a posar-les a incubar en el cas de VD8 s'hi introduís una quantitat de bioestabilitzat

superior a la dosi nominal de 80g/kg. Cal tenir en compte la dificultat alhora d'obtenir una mescla totalment homogènia entre bioestabilitzat i sòl, ja que el bioestabilitzat presenta una granulometria força grollera. També existeix la hipòtesi de que en el cas dels tractaments MD8 es produís una inhibició de la microfauna edàfica encarregada de mineralitzar el carboni orgànic per algun tipus de tòxic degut a que es tracta d'un dosi força elevada.

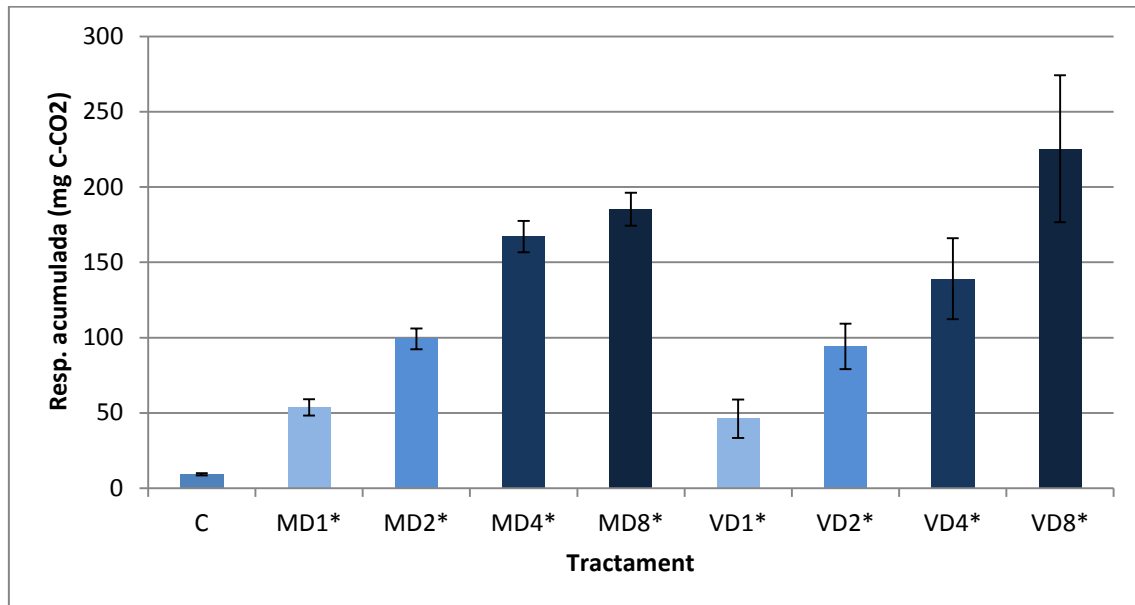


Figura 26. Mitjana de la respiració acumulada per a cada tractament, durant 64 dies d'incubació. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb: *.

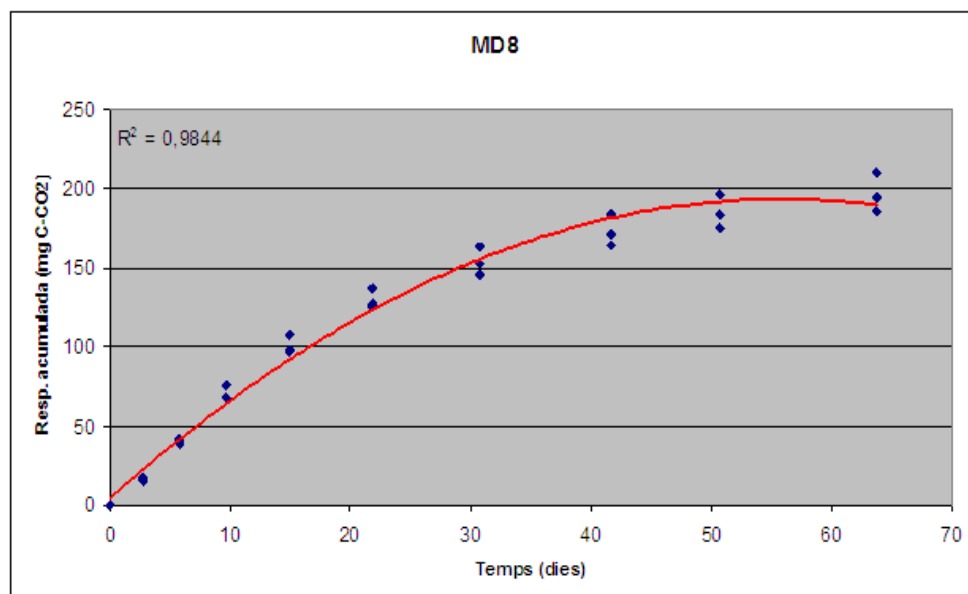


Figura 27: Respiració acumulada al sòl tractat amb la dosi alta de BM (MD8).

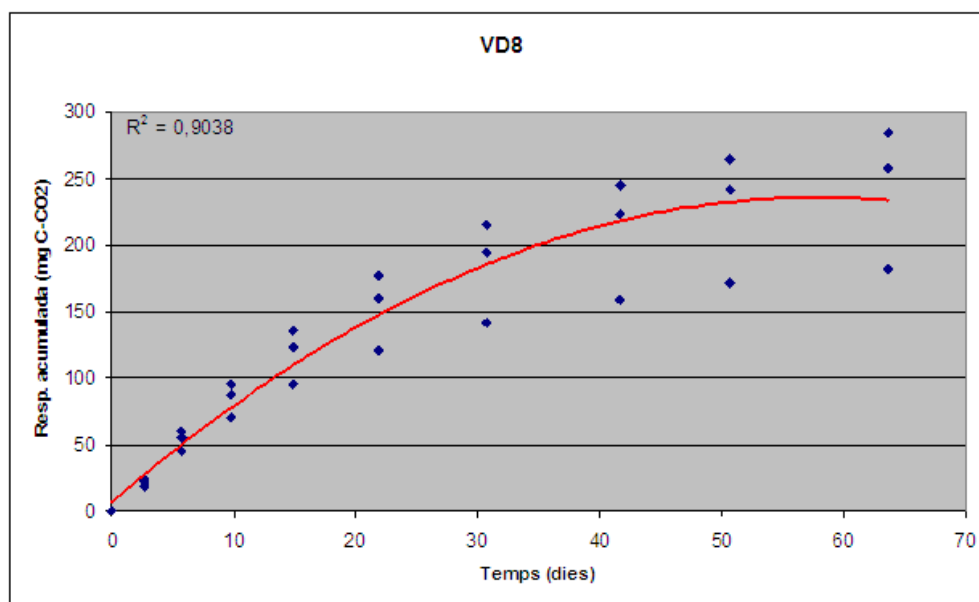


Figura 28: Respiració acumulada al sòl tractat amb la dosi alta de BV (VD8).

Les figures 27 i 28 ens mostren quin és el ritme en que es va mineralitzant la matèria orgànica. A diferència del model d'una sola fase que segueix el control (*figura 25*), els tractaments on s'ha aplicat bioestabilitzat segueixen un model de dues fases, amb una primera on es mineralitza la matèria orgànica més làbil i una segona on la mineralització és més lenta.

5.2.4.5 Matèria orgànica dissolta

L'absorbància a 440nm dels extractes, ens proporciona una aproximació a la concentració de la matèria orgànica més làbil. A la figura que trobem a continuació es mostra com a evolucionat aquesta absorbància a 440 des de l'inici al final de bioassaig.

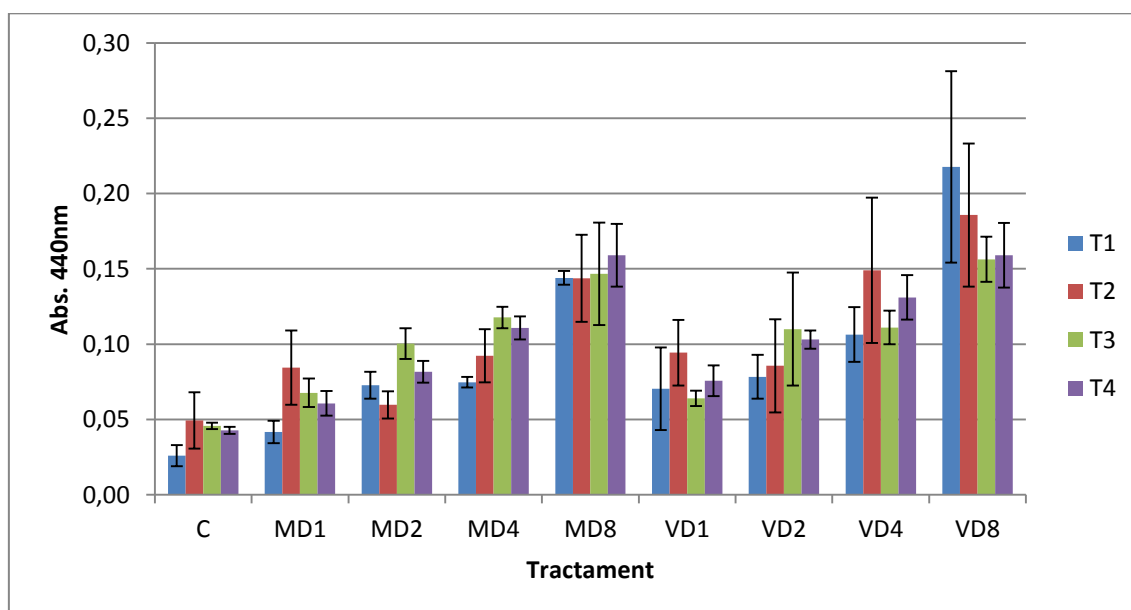


Figura 29: Evolució matèria orgànica dissolta. S'ha mesurat per als 4 mostreigs que es van dur a terme.

Els resultats obtinguts mostren una relació positiva entre la aplicació de bioestabilitzat i l'augment de matèria orgànica dissolta. De fet, ens els extractes preparats (*veure apartat 4.4.2*) realitzant una anàlisi qualitativa a simple vista s'observava un grau més elevat de coloració en aquells que corresponien a dosis elevades de bioestabilitzat. En quant a aquesta, era una coloració més aviat clara, típica de la que donen els àcids fúlvics, que no pas fosca típica dels àcids húmics. D'acord amb (*Pérez 2008*), un augment de la densitat òptica en els extractes revela un major grau de maduresa ja que el carboni soluble (substàncies húmiques en general) tindrà un percentatge major de compostos aromàtics més o menys condensats.

Cal remarcar també que la matèria orgànica soluble en aigua és només una petita part de la làbil. Aquesta és la raó per la qual si comparem els resultats que s'obtenen d'acord amb aquesta anàlisi son inferiors als que obtenim si restem el carboni recalcitrant del total obtingut pel mètode del dicromat.

5.2.5 Caracterització dels ions solubles

La concentració de carboni, tal i com podem veure en totes les anàlisis (*veure apartats 5.2.4.2 i 5.2.4.5*) augmenta proporcionalment a la dosis de bioestabilitzat. Això mateix és el que s'observa a la taula 15. El control mostra uns valors molt baixos de carboni soluble, i el sòl esmenat amb dosis elevades de material bioestabilitzat té una concentració de fins a més de 30 vegades superior. Un indicatiu més de que el material bioestabilitzat conté un alt contingut de matèria làbil.

En les concentracions de nitrogen soluble (amoni, nitrat i nitrit), s'observa una tendència molt diferent a la del C soluble. Existeix una relació negativa entre les diferents formes de nitrogen i la dosi de bioestabilitzat, cosa que pot ser explicada per una immobilització d'aquest N al sòl, a causa de l'elevada relació C/N (*Yamulki, 2006*), que podria provocar efectes negatius en les plantes per dèficit de nitrogen.

La immobilització del N és el procés oposat al de la mineralització. Consisteix en la transformació del N inorgànic (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) del sòl en N orgànic. Aquest procés el duen a terme els microorganismes quan absorbeixen el N mineral per alimentar-se i degradar el C. En aquest cas, aquesta és una hipòtesi que mostra molts indicis de ser certa degut a l'elevat contingut de C orgànic làbil que proporciona el material bioestabilitzat al sòl.

En quant a la resta d'ions (taules 15 i 16) s'observa una clara relació positiva entre l'aplicació de bioestabilitzat i l'augment de la seva concentració excepte en el cas del fòsfat. En el cas del ió sulfat s'han detectat concentracions molt elevades a MD8, de fins a 16 vegades major que el control. Els valors de sodi així com els de potassi també experimenten increments molt importants de fins a 20 i 12 vegades a VD8 respecte el control.

Taula 15: Concentració mitjana dels anions i del carboni soluble a T2 (veure apartat 4.3.5), obtinguts de l'extracte (1:5) del sòl.

Tractament	C (g/Kg)	Cl ⁻ (mg/kg)	NO ₂ ⁻ (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	PO ₄ ³⁻ (mg/kg)	SO ₄ ²⁻ (mg/kg)
C	0,5	39,7	1,2	10	7,5	40,1
MD1	7,4	86,6	0,9	2	8,8	84,1
MD2	6,1	150,9	0,6	1,7	9,1	191,6
MD4	11	177,1	1,4	2,3	6,8	272,5
MD8	15,8	436,1	0,8	5,3	9,1	647,3
VD1	1,6	105,8	0,5	4,7	8,3	81,6
VD2	2,4	233,9	1	2	8,9	144,6
VD4	3,1	198,8	1,1	3,1	8	152,1
VD8	16,5	570,4	0,6	2,9	5,9	352,4

Taula 16: Concentració mitjana dels cations solubles a T2 (veure apartat 4.3.5), obtinguts de l'extracte (1:5) del sòl.

Tractament	Na ⁺ (mg/kg)	NH ₄ ⁺ (mg/kg)	K ⁺ (mg/kg)	Mg ²⁺ (mg/kg)	Ca ²⁺ (mg/kg)
C	20,3	5,6	9,6	6,6	216
MD1	60,6	6,2	14,4	9,6	274,4
MD2	107,9	6	22,6	14,6	330,3
MD4	141,5	2,7	31,8	18,6	308,4
MD8	331,6	2,7	90,7	23	645
VD1	77,7	4	14,9	4,4	283,8
VD2	141,5	4,9	28,6	7,9	346,1
VD4	166,2	4,3	36,3	9,4	359,5
VD8	399,5	6,2	116,7	29,8	557,3

5.3 Efectes del bioestabilitzat en la germinació i creixement del blat

5.3.1 Test de germinació de tres espècies de plantes

A la figura 30 es pot veure els resultats obtinguts en el test de germinació amb una lleguminosa (alfals), una composta (enciam) i una gramínia (raigràs) . A simple vista s'observen uns resultats molt heterogenis sense cap patró en comú, excepte que el percentatge de germinació ha estat molt baix i en cap cas s'ha arribat a un 50% de llavors germinades.

Pel que fa al raigràs perenne és l'espècie que ha aconseguit la màxima germinació en MD2, amb poc més d'un 45% de llavors germinades. S'observen resultats entre el 30 i el 40% en la resta de dosis intermèdies i en el control, si be a dosis baixes i elevades de bioestabilitzat aquest percentatge cau fins a tan sols el 20%. Aquesta és una espècie que germina correctament en sòls neutres o lleugerament àcids. El sòl utilitzat és bàsic, amb pH superior a 8 (veure apartat 5.2.2). Aquesta espècie també és força sensible a valors de salinitat elevats. De la mateixa manera que en l'estudi dut a terme per Zubillaga et. al., (2008) el baix percentatge de germinació es relaciona amb aquests dos paràmetres.

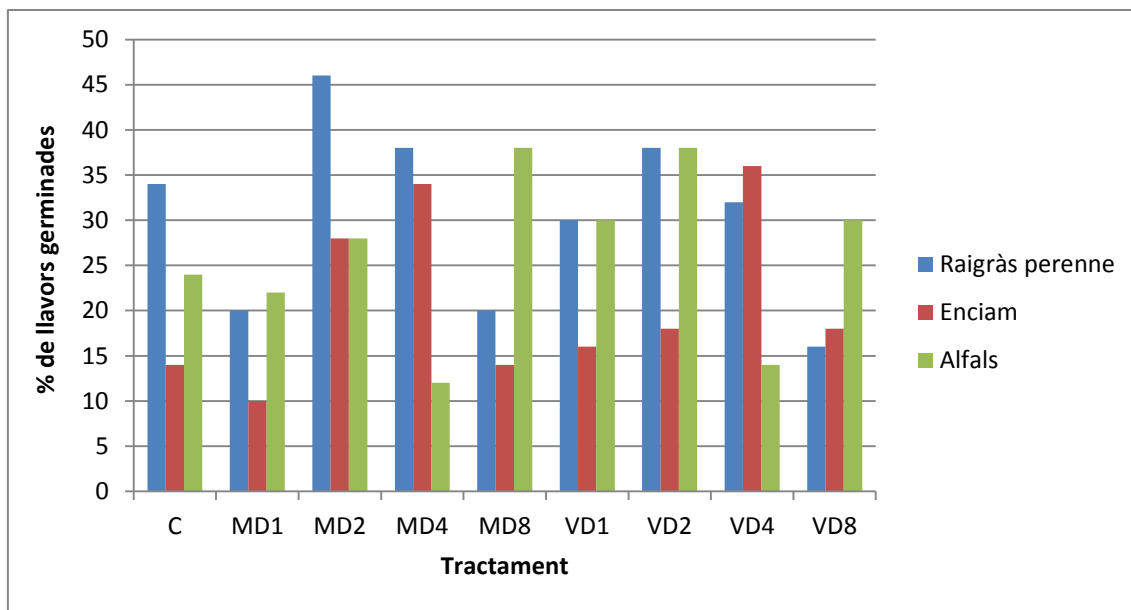


Figura 30. Resultats del test de germinació dut a terme per a tots els tractaments, utilitzant les següents espècies: raigràs perenne (*Lolium perenne*), enciam (*Lactuca sativa*) i alfals (*Medicago sativa*). Els resultats es mostren en percentatge sobre les 50 llavors sembrades en cada cas.

En l'enciam s'observa una germinació encara més baixa. On hi ha hagut un resultat relativament més bon és en les dosis MD4 i VD4, entorn el 35%, tot i així d'acord amb *Sobrero y Ronco (2004)*, hi ha uns efectes negatius que afecten les plàntules, ja que la germinació és inferior al 50%. Aquesta és una espècie molt sensible a la salinitat (*Zapata et al. 2008*) la qual cosa pot haver provocat una considerable inhibició. Una altra hipòtesis podria ser que tal i com indica *Celis et al. (2006)* hi hagi problemes de toxicitat per Zn, atès que una concentració igual a 0,0001 molar és suficient per produir una inhibició propera al 50% de les llavors.

En el test de germinació amb alfals s'obtenen un resultat baixos de la mateixa manera que amb les altres espècies. A les dosis MD4 i VD4, a diferència de l'enciam, és on s'han obtingut els resultats més baixos.

Cal tenir en compte però que els resultats en el sòl control també han estat dolents, això impedeix establir una clara relació entre la germinació d'aquestes espècies i l'aplicació de bioestabilitzat.

5.3.2 Germinació

La figura 31 mostra l'evolució de la germinació de les llavors de blat, durant el primer més del bioassaig.

S'observa una germinació bastant irregular. El màxim percentatge de germinació es dona a les dosis 4, amb un 93% en el cas de Mataró i un 87% en el cas de Vacarisses. Precisament també és en aquesta dosi on la desviació és menor, és a dir que en el sòl esmenat amb una dosi de 40g/kg tenim una germinació força homogènia. En canvi, al

control és on hi ha el menor percentatge de germinació, que tant sols és del 60%. Una explicació podria ser que degut a la facilitat d'aquest sòl per compactar-se, dificulta la penetració de la radícula, i en conseqüència l'absorció d'aigua.

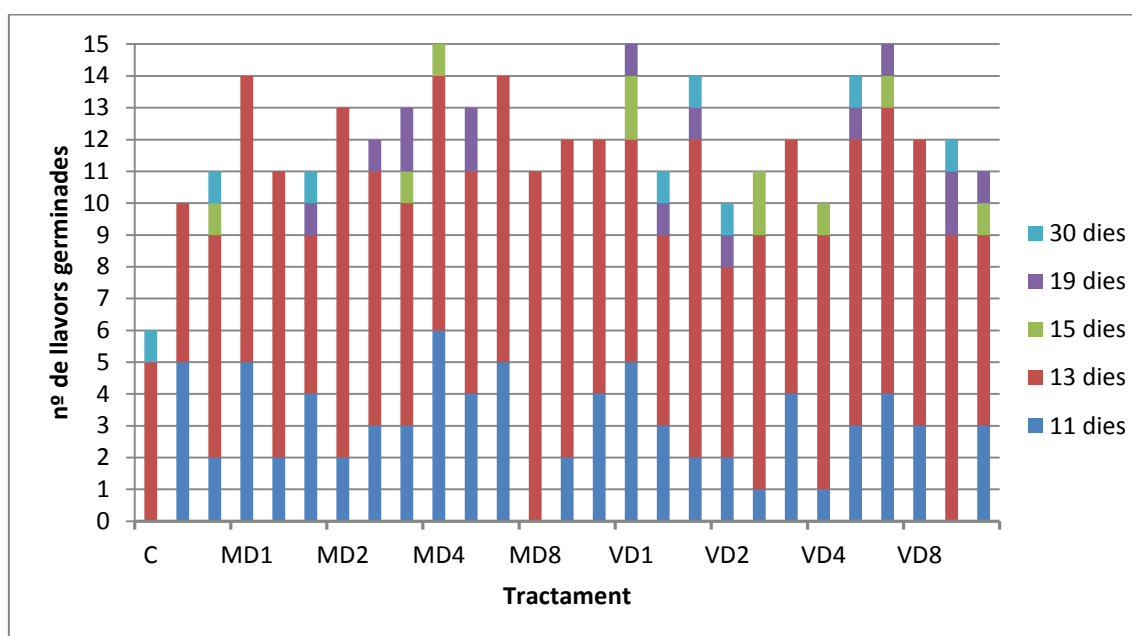


Figura 31. Germinació de llavors de blat en funció del tractament.

Si analitzem el període de temps amb que han germinat les llavors, s'observa que la gran majoria ho han fet entre els 11 i els 13 dies. Aquest és un període de temps força llarg si tenim en compte que en una prova que es va fer *in vitro* les mateixes llavors ho van fer en menys de 3 dies. Una possible raó és també l'elevat grau de compactació del sòl un cop regat.

5.3.3 Pèrdues d'aigua al sòl

En les figures 32 i 34 s'observa quina és la pèrdua diària d'humitat del control i dels diferents tractaments. S'ha escollit aquesta forma de presentar els resultats i no la pèrdua d'aigua total perquè, per una banda els diferents tractaments tenen diferent capacitat de retenció d'aigua, i per l'altra la quantitat de sòl és diferent en cada cas.

En el primer període de 12 dies (figura 32) es pot veure que els testos esmenats amb BM segueixen una tendència oposada als testos esmenats amb BV. Mentre que en els testos amb BM la pèrdua d'humitat és menor en aquells tractaments en els que s'ha utilitzat una dosi elevada de bioestabilitzat, en els de BV la pèrdua d'humitat és menor en les dosis baixes. En quant als testos control, perden una quantitat d'aigua intermèdia. En el test ANOVA dut a terme s'observen diferències significatives respecte el C únicament en MD8. La principal explicació es que en aquest període de temps les plantes del bioestabilitzat de Vacarisses van experimentar un fort creixement (*veure apartat 5.3.3*), a diferencia de les del de Mataró que degut a una possible fam de N o toxicitat es va donar una inhibició del creixement. Per tan, en els

tractaments de Vacarisses, degut a la major quantitat de biomassa, l'evapotranspiració serà més elevada cosa que ens portarà a observar aquests resultats.

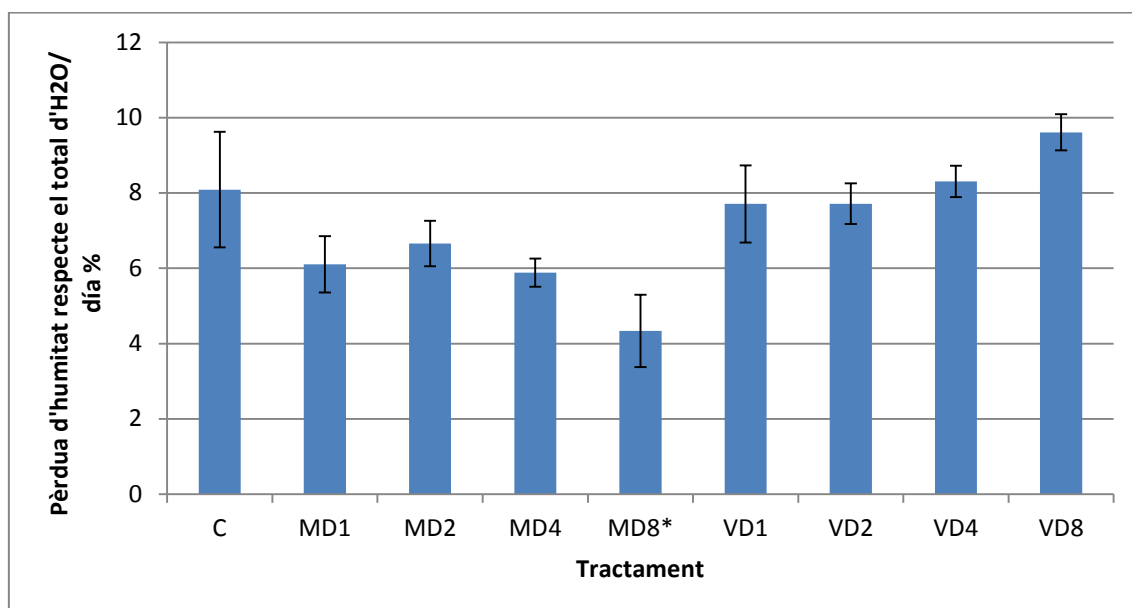


Figura 32. Pèrdua d'humitat/dia, en els testos del bioassaig en un període de 12 dies (05/04/2013 – 17/04/2013) durant l'estadi primerenc del blat. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}=0,1813$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

El fet que crida l'atenció és que, en els tractaments de Mataró, la pèrdua d'humitat és menor a les dosis elevades D4 i D8, la qual cosa es pot explicar per un possible *efecte mulch* degut a la gran quantitat d'elements fibrosos que conté el bioestabilitzat de Mataró (figur. 33). En l'article (Mazzarino et. al., 2004) es contempla la possibilitat d'usar compost de granulometria elevada com a mesura per protegir el sòl d'una evaporació excessiva, a la vegada que es milloren les propietats físiques de sòls compactats.

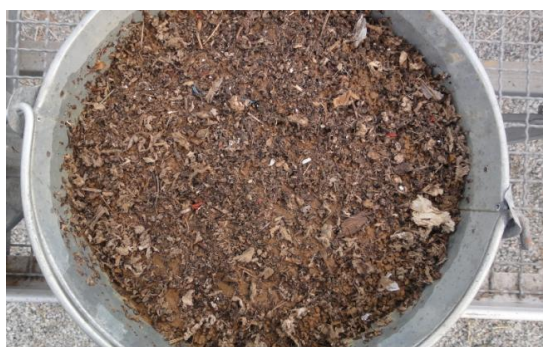


Figura 33. Imatge del test M3D8 al inici del bioassaig. S'hi pot apreciar una gran quantitat d'elements fibrosos que podrien afavorir el mateix efecte que el mulch.

A la figura 34, que correspon a la pèrdua d'humitat en el tram final del bioassaig, observem una tendència diferent que en els estadis inicials (figura 32). La pèrdua d'humitat del sòl esmenat amb BM segueix el mateix patró que el de Vacarisses degut

a que la inhibició del creixement que hi havia en els primers estadis ha desaparegut (*veure apartat 5.3.6*), cosa que repercuteix en un augment de la biomassa, i com a conseqüència de l'evapotranspiració.

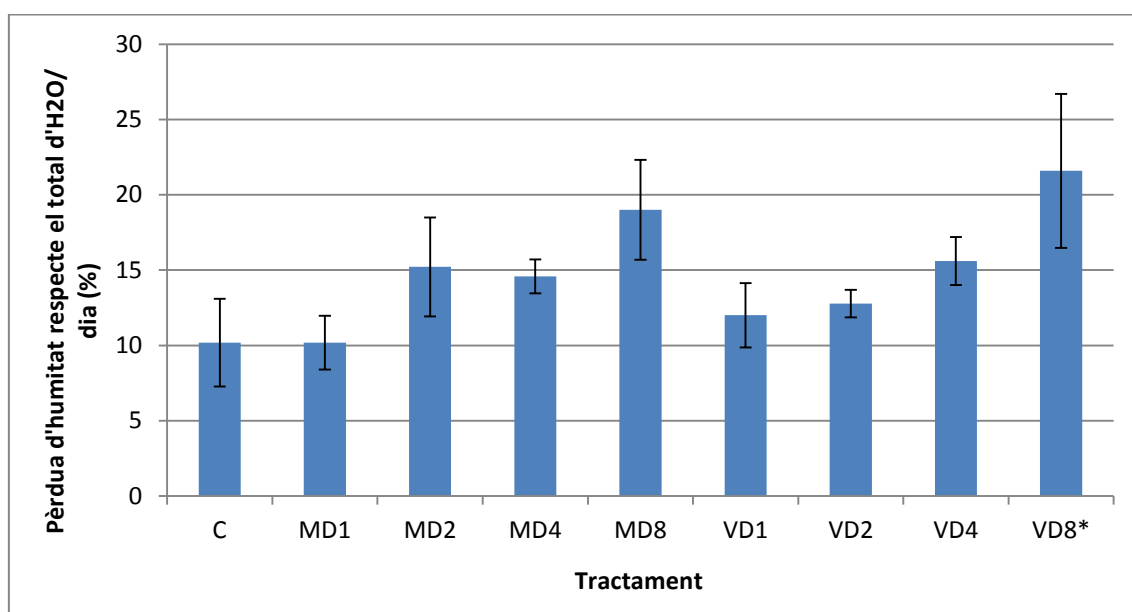


Figura 34. Pèrdua d'humitat/dia en els testos del bioassaig en un període de 12 dies (14/05/2013 – 26/05/2013) durant un estadi avançat del blat. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}=0,2344$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

Per altra banda, observem que en el control l'augment de pèrdua d'humitat que s'observa a la figura 33 respecte la figura 31, és relativament poc (2% aprox.), la qual cosa es relaciona amb el fet de que les plantes control, al final del bioassaig, han presentat un desenvolupament molt baix (*veure apartat 5.3.5*) i aquest petit augment possiblement sigui més aviat per a un increment de les temperatures que no pas per un augment de les pèrdues per evapotranspiració.

5.3.4 Creixement inicial

Les mesures d'elongació reflectides a la figura 35 mostren una resultats diferents en funció de la data.

Un mes després de la sembra no s'aprecien diferències entre control i tractaments. Sembla ser que en els primers estadis de desenvolupament de les plàntules de blat el bioestabilitzat no té cap efecte, això en gran part es degut a que en aquest estadi les plantes utilitzen per al seu creixement les reserves de la llavor.

Al cap 50 dies el test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$) indica diferències significatives en pràcticament tots els casos, exceptuant entre els tractaments amb bioestabilitzat de Mataró. En aquests casos, les plàntules presenten una inhibició del creixement provocada pel dèficit d'algun nutrient, o per a la presència d'algun contaminat que no ha estat possible determina.

En tots els casos, pel que fa a aquests tractaments, trobem un creixement en elongació inferior al control. En quant als resultats de Vacarisses, presenten una relació positiva entre creixement en elongació i dosi de bioestabilitzat, essent les plàntules de VD8 les que tenen un alçada major, que duplica les plàntules del control, i encara més les esmenades amb bioestabilitzat de Mataró.

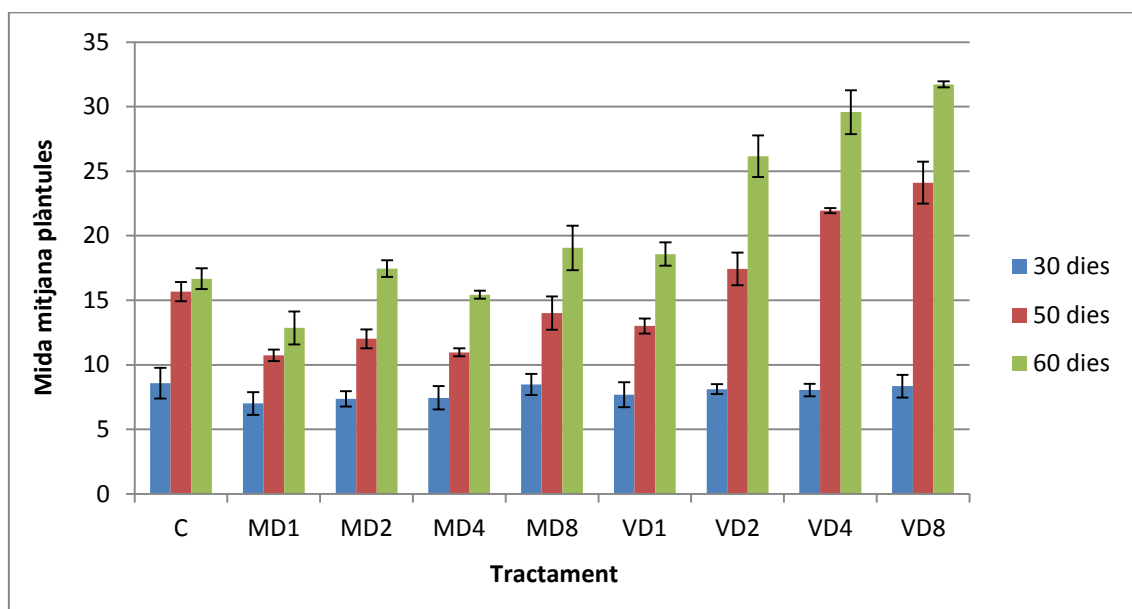


Figura 35. Creixement en elongació a l'estadi inicial del blat. S'ha dut a terme un test ANOVA per a tots els temps: 30 dies ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}=0,2991$), 50 i 60 dies ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$).

La mesura d'elongació duta a terme al cap de dos mesos de les sèmres mostra la mateixa tendència pel que fa als tractaments on s'ha utilitzat bioestabilitzat de Vacarisses. En quant als tractaments amb bioestabilitzat de Mataró, no s'observa una estimulació del creixement encara, tot i que en el test ANOVA s'obté una diferència significativa entre C i MD8, essent major MD8. Això es deu a un estancament en el creixement de les plàntules del control que es mantindrà al llarg de tot el bioassaig, possiblement a causa del baix contingut de nutrients i la mala estructura del sòl.

La mesura d'elongació duta a terme al cap de dos mesos de les sèmres mostra la mateixa tendència pel que fa als tractaments on s'ha utilitzat bioestabilitzat de Vacarisses. En quant als tractaments amb bioestabilitzat de Mataró, no s'observa una estimulació del creixement encara, tot i que en el test ANOVA s'obté una diferència significativa entre C i MD8, essent major MD8. Això es deu a un estancament en el creixement de les plàntules del control que es mantindrà al llarg de tot el bioassaig, possiblement a causa del baix contingut de nutrients i la mala estructura del sòl.

5.3.5 Biomassa aèria en el primer mostreig destructiu

Els resultats de biomassa que s'observen a la figura 36 segueixen la mateixa tendència observada en la mesura d'elongació feta al cap de dos mesos (figura 35).

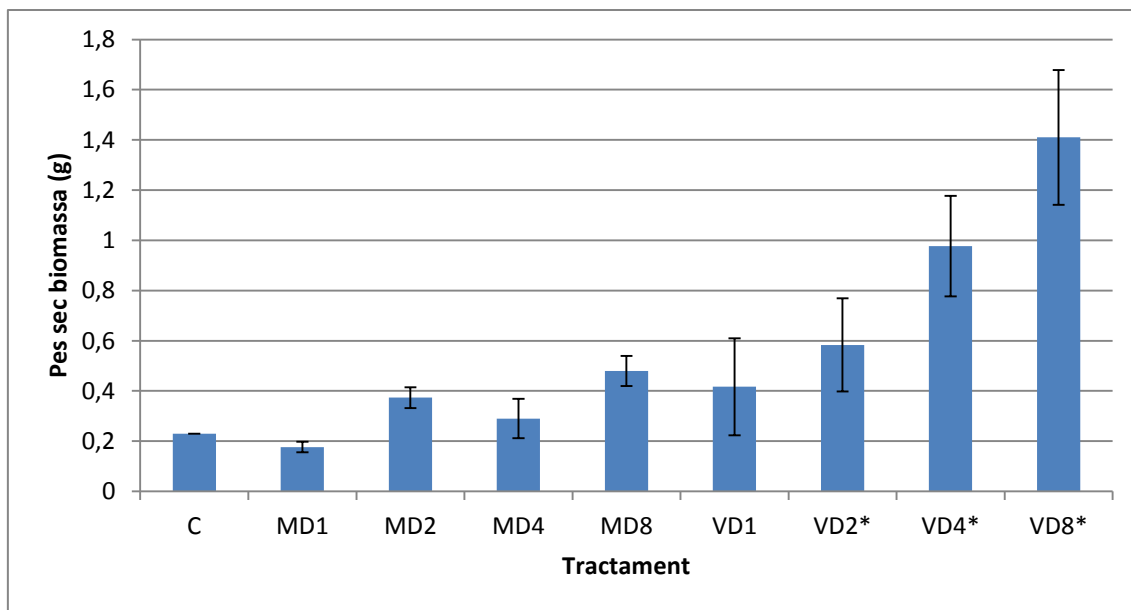


Figura 36. Pes sec de la biomassa en el mostreig dut a terme 67 dies després del inici del bioassaig. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$) en el qual, si prenem com a referència el control, únicament s'observen diferències significatives pel que fa a VD2, VD4 i VD8. Tot i l'elevada desviació que hi ha en aquestes dosis, el pes sec de la biomassa en el tractament VD8 és més de 6 vegades superior al del control, i quasi bé 3 vegades superior a MD8.

Encara que en el test ANOVA les diferències no han sortit significatives, és cert que s'observa una tendència en els tractaments MD2 i MD8 que dona entreveure que s'està produint una reactivació del creixement.

5.3.6 Biomassa final

A la figura 37 es presenten els resultats del pes sec de la biomassa a T4. Hi ha una clara relació positiva entre el creixement de les plàntules i la dosi de bioestabilitzat aplicada, tant pel que fa als tractaments amb BM com pels amb BV.

Si comparem els resultats entre els dos bioestabilitzats trobem que no està molt clar si estimula més el creixement l'un o l'altre. En la dosi més elevada hi ha una major producció a VD8 que no pas a MD8, però cal tenir en compte que la desviació estàndard és molt gran per a VD8, i el test Fisher's PLSD no mostra que les diferències siguin significatives.

Entre tractaments on si que s'observen diferències significatives es entre MD2 i VD2, essent força més elevada la biomassa en pes sec en MD2. Una possible justificació seria el fet de que a MD2 la quantitat de matèria orgànica i nutrients que proporciona el bioestabilitzat fos adequada per a que hi hagi un bon creixement. Si observem la

biomassa que hi havia en el primer mostreig destructiu (figura 36) i les dades d'elongació del blat en els primers estadis de creixement (figura 35), concorden amb el resultat final obtingut en aquest apartat ja que el tractament MD2 va ser el primer, juntament amb el tractament MD8, en revifar després de l'estancament que van patir els testos tractats amb BM.

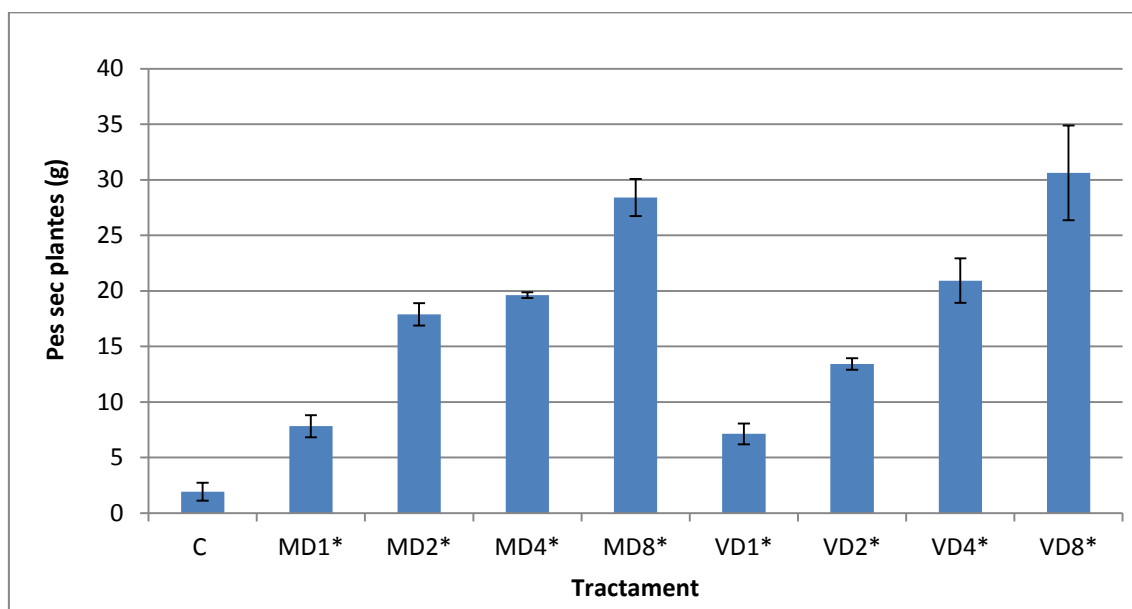


Figura 37. Mitjana dels valors del pes sec de les 10 plantes de blat de cada rèplica duta a terme per als tractaments amb BM i BV al final del bioassaig. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

Cal tenir en compte també que en el moment en que es va decidir finalitzar el bioassaig les plantes del sol esmenat amb BV presentaven un grau de desenvolupament major que les que ho estaven amb BM. Realitzant una simple anàlisi qualitativa de l'aspecte del blat (figura 38), s'observa que en els testos on s'ha aplicat BV les plantes presenten un grau d'assecat natural major que en aquells on s'ha aplicat BM, la qual cosa dóna a pensar que les plantes estan més pròximes a la finalització del seu cicle.

Es contempla la possibilitat de que en el cas dels tractaments amb BM s'hagi infravalorat lleugerament els resultats de biomassa finals. Això pot ser degut a que la inhibició del creixement en els estadis inicials hagi ralentitzat el cicle del cultiu i no s'hagi assolit el màxim creixement de les plàntules. En els tractaments amb BV considerem que es troben en un estadi més avançat, ja que el dia en que es va finalitzar el bioassaig ja portaven uns dies on, més que el creixement de la planta, el que es donava era un creixement de les espigues i una pèrdua d'humitat de la planta, típica del blat al final del seu cicle.

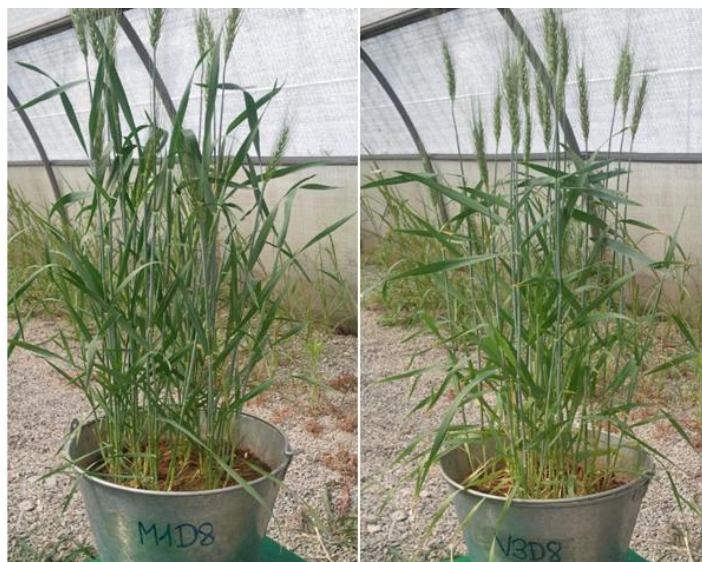


Figura 38. Plantes de blat en el test M1D8 (esquerra). Plantes de blat en el test V3D8 (dreta).

Nota: En el test M1D8 les plàntules de blat s'observa que el procés d'espigació està lleugerament més atraçat que en el cas del test V3D8. El principal indicatiu és els símptomes aparents de pèrdua d'humitat.

5.3.7 Espigues

La fertilització, el tipus de sòl i el reg entre d'altres són paràmetres que condicionaran la producció del cultiu de blat (Moreno, 2001), per tant en aquest cas és d'esperar trobar forces diferències en quant a producció d'espigues.

5.3.7.1 Procés d'espigació

La següent figura ens indica el nombre d'espigues en funció del tractament al final del bioassaig.

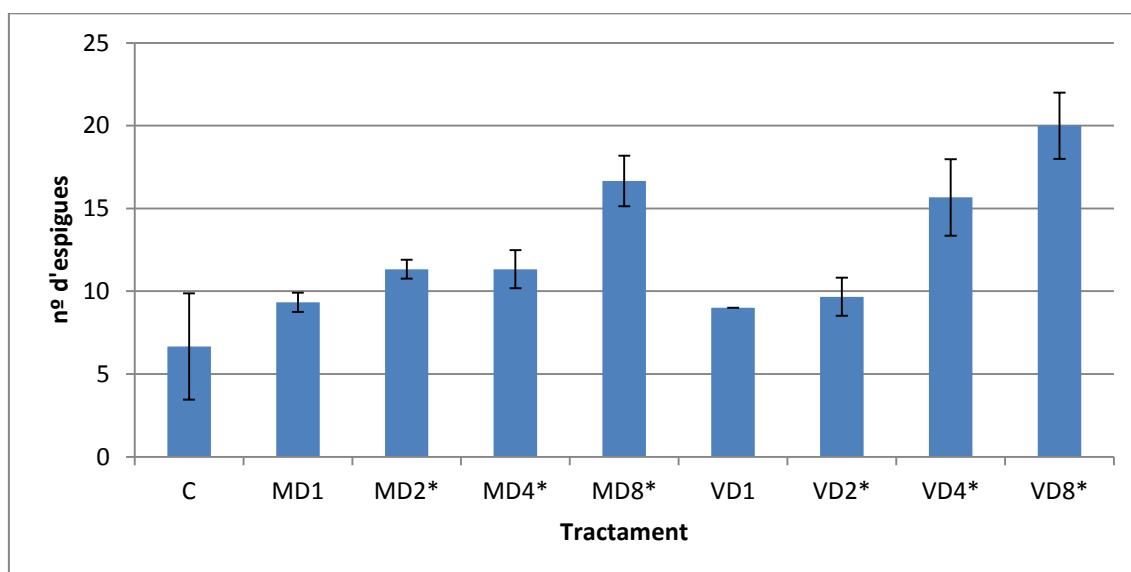


Figura 39. Mitjana del nº d'espigues trobades en les tres rèpliques de cada tractament. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

Es pot observar que el major nombre d'espigues es dona en aquells tractaments on la dosi de bioestabilitzat és més elevada. També s'observa un major nombre d'espigues en els tractaments VD4 i VD8 respecte MD8 i MD4. Per altra banda a dosis baixes el nombre d'espigues final es major en el cas de BM encara que en el test Fisher PLSD les diferències no siguin estadísticament significatives.

Si s'observen les diferents dosis del BM hi ha la mateixa tendència que en la biomassa i l'elongació. A MD2 hi ha hagut la mateixa quantitat d'espigues que a MD4.

El control és el que presenta una desviació estàndard més gran. Això és degut a que en la rèplica C1, únicament van germinar 6 llavors, i com a conseqüència el nº d'espigues obtingut és baix comparat amb C2 i C3.

En quant al seguiment del procés d'espigació també hi van haver diferències importants. En els tractaments VD4 i VD8 les primeres espigues van aparèixer 79 dies després de la sembra. Al cap de 5 dies van aparèixer a la resta de tractaments amb BV i en MD8. Tres dies més tard als tractaments MD4, MD2 i MD1, i finalment dos dies més tard es van observar espigues a tots controls. Aquests resultats demostren que les plàntules esmenades amb BV es trobaven en un estat més avançat.

5.3.7.2 Pes sec de la collita

La figura 40 mostra el pes sec de les espigues de blat al finalitzar el bioassaig. S'observa una clara relació positiva entre l'aplicació de bioestabilitzat i la producció del cultiu, cosa que concorda perfectament amb la resta de resultats.

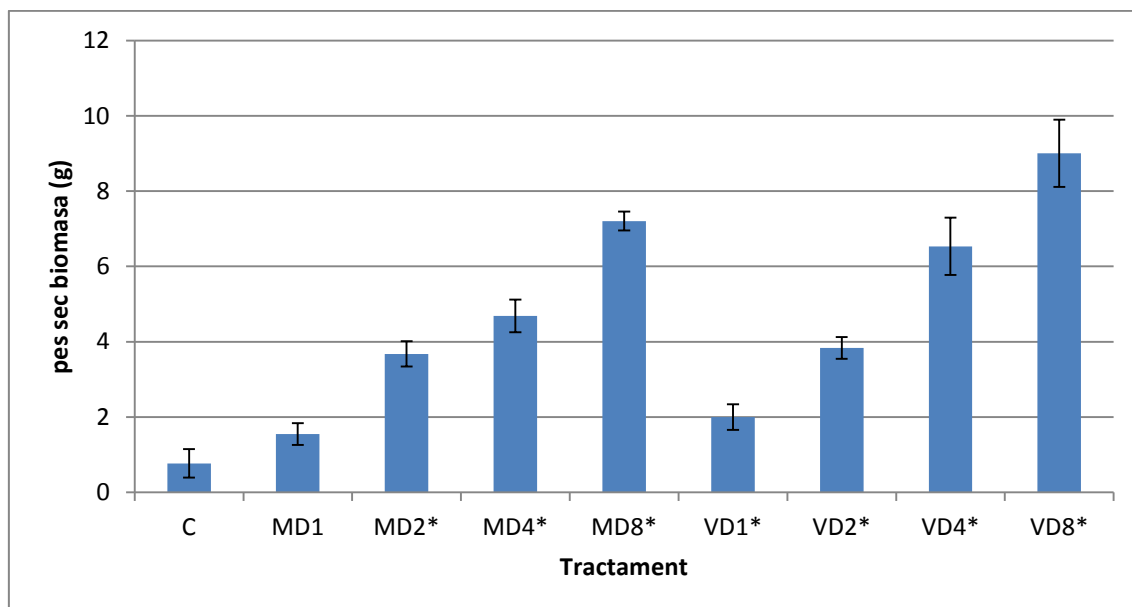


Figura 40. Mitjana del pes sec (g) del total d'espigues en cada tractament al final de bioassaig. S'ha dut a terme un test ANOVA ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$). Prenent com a referència C s'observen diferències estadísticament significatives ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's PLSD) en els tractaments marcats amb *.

La producció del blat ha estat superior a VD8. El test Fisher's PLSD mostra diferències significatives entre VD8 i la resta de tractaments. Si comparem MD4 amb VD4 també hi ha diferències significatives. En quant a les dosis baixes de bioestabilitzat, en ambdós casos s'observa una producció més o menys semblant.

El control presenta una producció molt baixa que s'explica per un mal desenvolupament del cultiu en aquest sòl degut a les males propietats, tan físiques com químiques. Si comparem la producció que ha tingut el control respecte MD8 i VD8, trobem que en el segon i tercer cas ha estat 9 i 11 vegades més gran, respectivament.

Cal comentar que quan es va finalitzar el bioassaig les plantes encara no havien completat totalment el cicle vegetatiu, arribant a l'estadi de maduresa indicat per segar (*Moreno, 2001*). És a dir, que el cultiu no estava encara suficientment madur i sec, amb una humitat del gra en torn al 10-12% (*Lopez, 2000*). El fet de que els cultiu no estigués suficientment madur implica que les espigues no s'han desenvolupat totalment de manera que pot haver provocat una infraestimació dels resultats, que pot haver estat major per aquells tractaments esmenats amb BM degut a la inhibició dels creixement soferta en els primers estadis.

5.3.8 Pigments fotosintètics

A la figura 40 es mostra la concentració de pigments fotosintètics que hi ha a la fulla bandera de les plantes de blat.

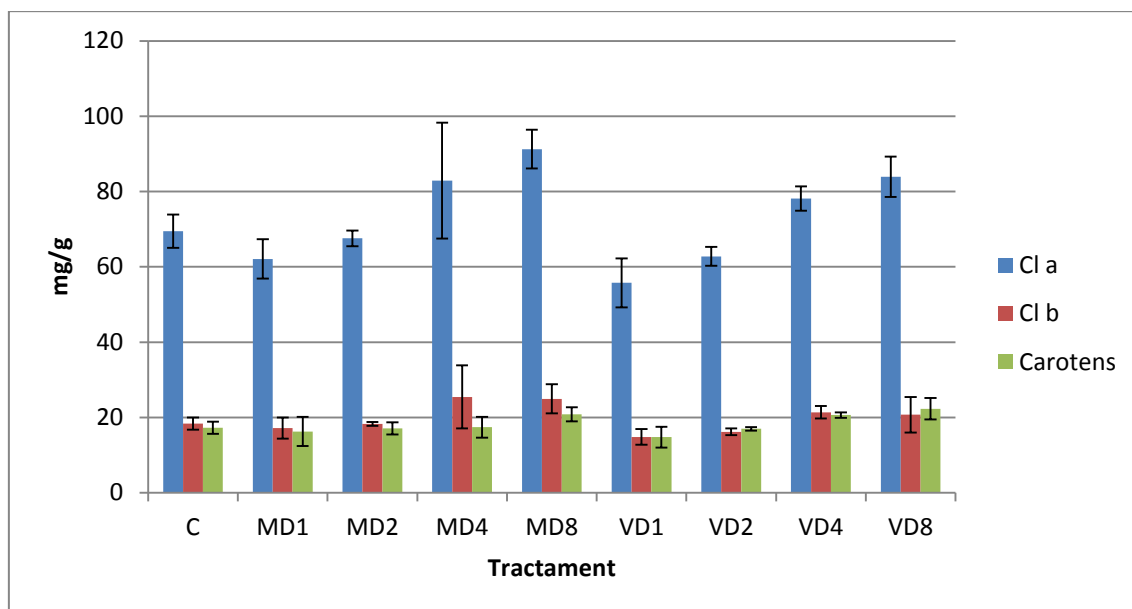


Figura 41. Concentració de pigments fotosintètics (mg/g de pes fresc) a les fulles bandera del blat. S'ha dut a terme un test ANOVA per als diferents pigments: Clorofil·la *a* ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0001$), Clorofil·la *b* ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}<0,0263$) i carotens ($\alpha=5\%$, $p\text{-valor}=0,0130$).

Troblem una augment de la concentració de Cl *a* respecte el control en les dosis 4 i 8 dels dos bioestabilitzats que és estadísticament significativa ($p\text{-valor}<0,05$, test Fisher's

PLSD). Per contra, en les dosis baixes hi ha una concentració menor la qual és estadísticament significativa per a VD1. En quant a CI *b*, únicament s'observen diferències significatives respecte el control en els tractaments MD4 i MD8, a la resta de tractaments, la concentració es manté. En canvi, pel que fa als carotens la única diferència estadísticament significativa la trobem en VD8.

5.4 Discussió general

El bioestabilitzat, és a dir, el producte de la descomposició aeròbica de la matèria orgànica dels residus municipals no recollits selectivament, és un material que fa poc que es produeix a Catalunya, i per tant, encara no és prou ben conegut. En el procés de producció hi ha diversos factors poc controlats com la naturalesa de la fracció resta, la tecnologia emprada a cada planta, el temps de bioestabilització, etc. que poden afectar les característiques del producte obtingut i que posteriorment repercutiran a l'hora d'aplicar-se al sòl. Per això, alguns resultats obtinguts són difícils d'interpretar, com els que poden estar afectats per la presència de contaminants.

El factor que més explica les diferències observades entre els tractaments és la dosi de bioestabilitzat aplicada. Aquestes dosis són creixents, i especialment en la més alta (80g/kg), s'està esmenant el sòl amb una quantitat realment molt elevada que modifica les propietats físiques i químiques del sòl tractat. Si tenim en compte la baixa densitat del bioestabilitzat, en volum, estem parlant d'una relació 1:5 entre bioestabilitzat i sòl.

Els processos utilitzats en cada planta poden condicionar de manera important els resultats obtinguts ja que, per exemple, uns residus que no s'han tractat en condicions aeròbiques el temps suficient, presentaran un contingut elevat de matèria orgànica làbil. Això farà que el compost obtingut sigui molt poc estable i que un cop sigui aplicat al sòl tingui lloc una degradació molt ràpida de la matèria orgànica. Quan la matèria orgànica no està suficientment estabilitzada, hi ha la possibilitat de que es generin problemes de fitotoxicitat per a l'alliberament de substàncies tòxiques (He et al., 1995). En certa manera això podria explicar els resultats obtinguts de les mesures de la respiració del sòl, especialment a les dosis elevades.

La variabilitat de la composició de la fracció resta és un altre problema que convindria controlar millor per evitar, per exemple, una elevada concentració de determinats metalls pesants, així com d'impuritats presents en el bioestabilitzat.

També és important tenir en compte les característiques del sòl usat en l'assaig. El fet d'haver escollit un sòl que presenta moltes carencies és un aspecte positiu perquè permet observar millor tot allò positiu que ha aportat el bioestabilitzat. Ara bé, ha dificultat la germinació i el creixement de les plantes en el propi control i per tant,

destriar si els efectes favorables del bioestabilitzat es deuen a la millora de propietats físiques o a l'aportació de nutrients.

Un efecte evident del bioestabilitzat ha estat la millora de l'estructura del sòl. Així, durant el bioassaig quan es regaven tots els testos es podia comprovar que en les dosis baixes, i sobretot en el control, la infiltració era molt baixa i com a conseqüència l'arrelament de les plantes podia arribar a ser deficient, comportant problemes com el baix creixement observat. Aquest efecte sembla haver estat més accentuat a les dosis baixes de BV que no pas les de BM, ja que en el segon cas conté una fracció fibrosa que pot haver ajudat a millorar considerablement l'estructura del sòl i facilitar el creixement del blat. Segons *Doorenbos i Kassam, (1979)* el blat és una espècie que requereix sòls amb un bon drenatge.

En general, hi ha una relació positiva entre els paràmetres fisicoquímics analitzats i la aplicació de bioestabilitzat. La CE, la biomassa, el carboni orgànic total, el creixement en els estadis inicials, la retenció d'aigua, la germinació són paràmetres que mostren clarament aquesta relació. En el cas de la retenció d'aigua no és tan evident en les dosis baixes, però sí que ho és en les més elevades. En quant al pH i la proporció de carboni recalcitrant, s'observa una relació negativa que concorda amb la resta de paràmetres.

Un dels principals problemes que s'ha donat en els tractaments amb BM és que en els primers estadis de creixement hi va haver una aturada o alentiment important, però que passat un temps les plantes de tots els tractaments es van recuperar, i fins i tot en alguns tractaments la biomassa final va ser més elevada en el BM. Una de les possibles explicacions és un dèficit d'algun nutrient., però també hi ha la possibilitat de que alguna substància tòxica produeixi un efecte negatiu sobre les plantes, la qual cosa no ha estat possible de provar, i abans de fer-ho convindria tenir indicis més evidents de que és així.

Taula 17. Quadre resum dels principals efectes observats sobre el sòl i les plantes com a conseqüència de l'aplicació de bioestabilitzat de Mataró i Vacarisses a un sòl calcari pobre. Si l'efecte produeix un increment del paràmetre s'indica amb major, i menor a la inversa. Es mostra si existeixen diferències significatives en els diferents tractaments respecte el control.

	MD1	MD2	MD4	MD8	VD1	VD2	VD4	VD8
Efectes sobre el sòl								
Capacitat de retenció d'aigua	NO	NO	NO	SI major	NO	NO	NO	SI major
pH (T2)	NO	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor
Conductivitat elèctrica (T2)	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major
Pèrdues per calcinació 550°C	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major
Carboni oxidable total (T1)	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major
C resistent hidròlisi - HCl (T1)	SI menor	NO	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	NO	SI menor
MO dissolta (T1)	NO	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major
Mineralització C orgànic.	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major
[] formes de N	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor	SI menor
Pèrdua d'aigua (estadi inicial)	NO	NO	NO	SI menor	SI major	SI major	SI major	SI major
Efectes sobre les plantes								
Creixement en elongació (60 dies)	SI menor	NO	NO	SI major	NO	SI major	SI major	SI major
Biomassa final	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major	SI major
Pigments fotosintètics	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	SI
Germinació	SI menor	SI major	SI major	NO	SI major	SI major	SI major	SI menor

6. CONSIDERACIONS PERSONALS

Tenint en compte les necessitats actuals de la societat, i un nivell de vida al qui ningú vol renunciar, és lògic pensar que la producció de RSU es mantindrà en uns nivells elevats. Actualment les possibilitats de gestionar la fracció resta dels RSU són limitades, o si més no costoses, i no es coneix cap alternativa que sigui neta al 100%.

En la recerca d'informació per a l'elaboració d'aquest treball he topat sovint amb informació referent als diferents sistemes de tractament de RSU, la qual cosa m'ha permès tenir una visió força ampla en aquest camp. Per una banda hi ha les plantes de recuperació energètica, les quals tenen la capacitat de transformar la brossa en energia elèctrica, tot i que alliberen contaminants atmosfèrics, i poden provocar una desincentivació de la població a l'hora de realitzar la separació en origen. Per l'altra, existeix la possibilitat d'abocadors controlats que presenten grans desavantatges com l'ocupació d'amplis terrenys. A més, tenen efectes negatius sobre el medi durant llargs períodes de temps i costos de gestió cada vegada majors degut a l'aplicació de normes més estrictes, sense oblidar que és l'últim sistema d'eliminació de residus recomanat al 5e Programa d'Acció Mediambiental de la UE. També hi ha l'opció de tractament de la matèria orgànica dels residus per biometanització, procés que consumeix quantitats importants d'aigua, genera males olors i lixiviats contaminats. La piròlisi i la gasificació són altres sistemes de tractament que requereixen elevats costos, una trituració prèvia del residu, i tenen associada l'emissió de gasos contaminants. Finalment tenim l'estabilització dels residus en condicions aeròbies, procés que té un cost relativament elevat, és força lent i genera lixiviats contaminats. Està clar que tots els sistemes de tractament de RSU tenen avantatges i inconvenients, d'aquí ve la complexitat alhora d'apostar per un o per l'altre.

La producció de bioestabilitzat com a mesura per reduir el volum de la fracció resta resulta una bona opció, la qual no pot contemplar-se com a única, però sí com a complementaria d'un sistema de gestió de residus sostenible i eficient. Per aquest motiu personalment crec que és un sistema de tractament de RSU que en les properes dècades anirà en augment.

Un dels principals inconvenients que hi ha actualment però, és que el bioestabilitzat no és un producte de prou qualitat com a adob orgànic i no disposa d'un mercat que incentivi la seva producció i la faci viable econòmicament. Possiblement el motiu sigui que es tracta d'un producte nou, i per tant existeix un desconeixement dels usos que se li podria donar a aquest material. Cal tenir en compte que la bibliografia referent a aquest tema és bastant limitada i la gran majoria d'estudis que s'han fet han estat a petita escala, la qual cosa ha estat un dels principals inconvenients per realitzar aquest treball.

També és important destacar que la legislació referent a aquest producte és molt ambigua. La legislació europea encara no ha estat modificada per regular l'ús d'aquest material. No es prohibeix, però tampoc s'autoritza, l'ús de bioestabilitzat com a esmena orgànica en restauració de sòls degradats, per exemple. Des del meu punt de vista aquest és un camp on s'hauria d'avançar el més aviat possible, ja que és el primer pas per a què tots els actors interessats en la producció d'aquest material es moguin i tinguin clar quin és el camí a seguir, si bé és cert que no es pot establir una normativa per aquest material si no es coneixen amb exactitud quines són les seves propietats i quins efectes té un cop s'aplica al sòl. El fet que aquest material tingui una heterogeneïtat tan elevada, i les seves propietats variïn considerablement en funció de la planta de tractament de la que prové o de la fracció resta entrant, suposa un fre en tot aquest procés.

En aquest sentit, per trobar una solució el més aviat possible caldria la cooperació entre la comunitat científica, la legislativa i tot el sector econòmic i industrial. En primer lloc caldria estudiar a fons, de la mateixa manera que s'ha fet en el cas dels fangs de depuradora o en el compost procedent de FORM, quins són els beneficis i els riscos de l'aplicació de bioestabilitzat al sòl. És cert que realitzar aquests estudis tindria uns costos importants, però també ho és, que hi ha empreses a les quals si existís una demanda de bioestabilitzat per a tasques de restauració incrementarien els seus guanys. Per tant també haurien de ser aquestes les qui juntament amb les institucions estatals pertinents assumissin els costos d'aquests estudis.

Referent a la producció d'aquest material caldria treballar per tal d'obtenir un producte de més qualitat en el que la quantitat d'impropis fos pràcticament nul·la, per tal d'evitar l'oposició dels potencials usuaris vers aquest material. Un altre aspecte important és l'estabilitat de la matèria orgànica, la qual depèn fonamentalment de la durada i les condicions del procés. Aquests factors són bàsicament dependents de les plantes de tractament, les quals haurien de tenir una cura especial si es vol aconseguir un producte que sigui aplicable al sòl amb unes mínimes garanties de seguretat i qualitat ambiental.

En la meua opinió crec que, ara per ara, tampoc no val la pena esforçar-se molt en qüestionar la validesa del bioestabilitzat com a fertilitzant en agricultura, si tenim en compte que la prioritat de les plantes de tractament mecànic i biològic és reduir la quantitat de matèria orgànica làbil que va a parar a l'abocador, i recuperar tots aquells materials presents en la fracció resta que poden ser reciclables o valoritzables. A més, si part del producte resultant pot ser útil com a esmena orgànica en restauració de sòls es reduirà la quantitat del residu final destinat a abocador.. Cal remarcar que, tal i com cita Adani (2004), la quantitat de residu final destinada al abocador en una planta situada a la província de Milan (nord d'Itàlia) equival a una quarta part de l'entrada

neta a la planta, és a dir que en quant a reducció en pes ja s'obtenen uns bons resultats.

En quant a la línia a seguir en als posteriors estudis crec per una banda caldrà fer un estudi similar al que s'ha dut a terme en aquest cas però en condicions de camp més properes a la realitat, el qual permetria evitar alguns biaixos que s'han pogut patir en aquest cas i valorar amb més precisió quins són els efectes d'aquest bioestabilitzat sobre el sòl i sobre la vegetació. Cal també provar un major nombre de bioestabilitzats si es vol generalitzar els resultats obtinguts. Per altra banda, considero que també seria de gran importància identificar i quantificar millor tots aquells contaminats orgànics i inorgànics que hi poden haver associats al bioestabilitzat.

7. CONCLUSIONS

- Atenent a la informació disponible, existeix una considerable heterogeneïtat entre diferents partides de bioestabilitzat en relació als principals paràmetres fisicoquímics considerats, tan si els bioestabilitzats provenen de plantes diferents com si provenen de la mateixa planta. Aquest fet fa difícil realitzar generalitzacions que no estiguin vinculades a una caracterització detallada dels principals paràmetres de cada lot de bioestabilitzat.
- La proporció d'impropis presents al bioestabilitzat de Mataró es força elevada, per la qual cosa la seva utilització com a esmena orgànica pot suposar la contaminació del sòl receptor.
- La concentració de metalls pesants al bioestabilitzat de Vacarisses és relativament elevada, arribant a superar les concentracions màximes de metalls fixades a la legislació vigent que regula la fabricació de productes fertilitzants.
- La matèria orgànica afegida al sòl amb l'aplicació de bioestabilitzat repercuteix en les propietats físiques d'aquest, provocant un efecte d'esponjament. Aquest efecte redueix la densitat aparent, augmenta la porositat i millora l'oxigenació del sòl, a la vegada que redueix el risc de compactació. També influeix positivament en la formació i estabilitat dels agregats del sòl, i augmenta la capacitat de retenció d'aigua.
- L'aplicació de bioestabilitzat incrementa la salinitat del sòl receptor, la qual cosa pot provocar efectes inhibidors sobre la germinació d'algunes espècies quan s'aplica a dosis elevades.
- El bioestabilitzat presenta un alt contingut de carboni fàcilment biodegradable, degut a la seva relativament baixa estabilitat. Aquesta baixa estabilitat del carboni afegit amb el bioestabilitzat afavoreix el creixement de la comunitat microbiana en el sòl, la qual cosa pot comportar la immobilització del nitrogen o altres nutrients afegits amb el bioestabilitzat, i fins i tot els presents al propi sòl.
- L'aplicació de bioestabilitzat al sòl afavoreix el desenvolupament de la vegetació, si bé es poden provocar efectes inhibidors del creixement durant els primers mesos després de l'aplicació degut a possibles efectes de tòxics no identificats o a la immobilització de nutrients.
- Abans de permetre les aplicacions de bioestabilitzat en la recuperació de terrenys degradats o com a esmena orgànica de sòls, cal continuar estudiant les característiques y efectes que pot produir en els sòls.

8. BIBLIOGRAFIA

Adani F, Tambone F, Gotti A, (2004) *Biostabilization of municipal solid waste*. Waste Management 24: 775–783

Álvarez S, (2005). *La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano*.

http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7916/1/ECO_14%282%29_04.pdf

Baldock JA, and Skjemstad JO, (1999). *Soil organic carbon/soil organic matter*. In 'Soil Analysis: an Interpretation Manual'. (Eds K. I. Peverill, L. A. Sparrow, and D. J. Reuter.) pp. 159-170. (CSIRO Publishing: Collingwood.)

Bardos P, (2004). *Composting of mechanically segregated Fractions of Municipal Solid Waste-A Review*.

<http://www.compostinfo.info/content/SET%20Critical%20Review%20MSW%20Composting.pdf>

Belay-Tedla A, Zhou X, Su B, Wan S, Luo Y, (2009). *Labile, recalcitrant, and microbial carbon and nitrogen pools of a tallgrass prairie soil in the US Great Plains subjected to experimental warming and clipping*.

<http://mpb.ou.edu/luo/pdf/Belay%20Tedla%20Labile%20recalcitrant,%20and%20microbial%20carbon%20and%20nitrogen%20pools%20of%20a%20tallgrass%20prairie%20soil%20in%20the%20US%20great%20plain.pdf>

Bernal MP, y Gondar DM, (2008). Capítulo 1: *Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario i estatal*. En Moreno Casco, J., y Moral Herrero, R., (Eds.) *Compostaje*

Schumacher B, (2002). *Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments*.

<http://www.epa.gov/esd/cmb/research/papers/bs116.pdf>

Boldrin A, Andersen JK, Moller J, Favoino E, and Christensen TH, (2009). *Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming potentials*. Waste Management & Research: 2009: 27: 800-812.

Saintmard C, (2005). *Managing Biodegradable Household Waste: What prospects for European Local Authorities?* Study performed for ACR+

Celis J, Sandoval M, Zagal E, Briones M, (2006) *Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de lechuga (lactuca sativa L.) en un suelo patagónico*.

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912006000300002&script=sci_arttext

Dios M, (2008). *Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost*. (Tesis doctoral)

Doorenbos J, & Kassam AH, (1979). *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, FAO

Eldor A, Sherri P, Morris J, Conant R, Plante A, (2006). *Does the Acid Hydrolysis–Incubation Method Measure Meaningful Soil Organic Carbon Pools?*

Farrell M, Jones DL, (2009). *Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets*. Bioresour. Technol. In press.

Favoino E, (2005). *Drivers, trends, strategies and experiences for proper management of biowaste in Europe*.

Fox HR, and Piekielek PW, (1978). *A rapid method for estimating the nitrogen-supplying capability of soils*. Soil Science Society of American Journal 42:751-753.

Frioni L, y Santos C, (1998) *Biotransformación aerobia de residuos orgánicos sólidos*. Agroagencia. Vol II, nº 1 Pag 1-11

García-Gil JC, Ceppi S, Velasca M, Polo A, Senesi N (2004) *Long-term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acid functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acid*.

Glaser B, Lehmann J, Führböter M, Solomon D, y Zech W, (2001). *Carbon and nitrogen mineralization in cultivated and natural savanna soils of Northern Tanzania*. Biol. Fertil. Soil 33: 301-309.

He X, Logan T, Traina S (1995). *Physical and chemical characteristics of selected U. S. municipal solid waste composts*. Journal of Environmental Quality 24: 543-552

Hurst C, Longhurst P, Pollard S, Smith R, Jefferson B, and Gronow J. (2005). *Assessment of Municipal Waste Compost as a daily cover material for odour control at landfill sites*. Environmental pollution, Volume 135, Pages 171-177.

<https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/2569/1/Municipal%20waste%20compost%20as%20a%20daily%20cover%20material-2004.pdf>

Ingelmo Sanchez F, y Rubio Delgado JL, Capitulo 13: Efecto del compost sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En Moreno Casco, J., y Moral Herrero, R., (Eds.) *Compostaje*.

KRULL ES, SKJEMSTAD JO, BALDOCK JA, (2004). *Functions of soil organic matter and the effect on soil properties*. En: Grain Research and Development Corporation, pp. 129. <http://grdc.com.au/uploads/documents/cso000291.pdf>

Lichtenthaler H, and Wellburn A, (1983). *Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents*. Biochemical Society Transactions, v. 11, p. 591- 592.

López FJ, Cañadas W, (2000). *Ensayos de cebada, trigo, maíz*. Memoria ITAP 2000, ensayos de cereales. http://www.magrama.gob.es/app/MaterialVegetal/docs/07.Ensayos_cebada_trigo_maiz.pdf

Martinez LM, (2004). *Teconologias para el tratamiento de residuos*.

- Martinez LM, (2005). *El tratamiento biológico mecánico y bioreactores*.
<http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/63609544-1769-4884-AAF8-BB619BAD3DF5/159965/MtnezCenteno.pdf>
- Martinez LM, (2006). *Aprovechamiento energético de los residuos sólidos municipales*, Capítulo 7 de la Guía sobre Gestión Energética Municipal. Comunidad de Madrid y Federación de municipios de Madrid.
[http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/219E1AAA27E4025AC125782C0065A478/\\$FILE/Guia-de-valorizacion-energetica-de-residuos-fenercom-2010.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/219E1AAA27E4025AC125782C0065A478/$FILE/Guia-de-valorizacion-energetica-de-residuos-fenercom-2010.pdf)
- Mazzarino MJ, Satti P, Moyano S, Laos F, (2004). *Composts de biosólidos: efecto del tamizado sobre la inmovilización de nitrógeno del suelo*.
<http://xa.yimg.com/kq/groups/18850757/660217049/name/Mazzarino+et+al.+2004+-Ciencia+del+Suelo.pdf>
- Moreno I, Ramírez A, Plana R, y Iglesias L, (2001). *El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba*.
<http://ediciones.inca.edu.cu/antiores/pdf/2001/4/CT22409.pdf>
- Nelson DW and Sommers LE, (1996). *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2nd ed., A.L. Page et al., Ed. Agronomy. 9:961-1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI.
- Canet R y Pomares F,(1994). *Changes in physical, chemical and physico-chemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia*. Bioresource Technology 51 Pages. 259-264
http://mie.esab.upc.es/ms/informacio/compostatge_digestio_anerobia/compostatge_compost/composting_MSW_valencia.pdf
- Ruiz R, (1981). *Cultivo del Trigo y la Cebada*. Bogotá: Temas de Orientación Agropecuaria. pp.19-20.
- Roca-Fernández AI, (2013). *Municipal solid waste compost addition as an organic amendment on galician agricultural soils (NW SPAIN)*. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences.
<http://www.jebas.org/vol1i2/Fernandez%20et%20al%20JEBAS.pdf>
- Maree S, Pan J, Bateson T, Gronow J and Voulvoulis N, (2011) *Gas emissions from biodegradable waste in United Kingdom landfills*. Waste Management & Research.
- Shabani H, Peyvast GA, Olfati JA, Ramezani P, (2011) *Effect of municipal solid waste compost on yield and quality of eggplant*. Comunicata Scientiae 2(2): 85-90.
- Silva A, (2006). *La materia orgánica del suelo*.
<http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/Materia%20Organica/organica.pdf>
- Simpson EW, (2008) *Long term behaviour of compost-like-output and its associated soils, Durham theses, Durham University*. Available at Durham E-Theses.
<http://etheses.dur.ac.uk/2545/>

Tortosa G, (2011.) *Elaboración a escala pre-industrial de enmiendas y abonos orgánicos sólidos y líquidos mediante co-compostaje de orujo de oliva de dos fases o "alperujo* (CSIC).

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/39933/1/TESIS%20DOCTORAL%20%2011%2004%2011.pdf>

Turrión MB, Lafuente F, Heras L, López O, Mulas R, y Ruipérez C, (2008) *Recuperación de un suelo forestal quemado mediante la aplicación de compost de residuos sólidos urbanos. estudio de la mineralización de la materia orgánica*. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 25: 419-424

Venglovsky J, Sasakova N, Vargova M, Pretrovsky M y Harichova D, (2005). *Evolution of temperature and chemical parameters during composting of the pig slurry solid fraction amended with natural zeolite*. Bioresorce Technology. Volume 96, Issue 2, 2005 ,Pages 181–189.

Wolkowski R, (2003). *Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost*. Journal of Environmental Quality 32: 1844-1850.

Wright MA, (1972). *Factors governing ingestion by the earthworm L. terrestris (L.) with special reference to apple leaves*. Annals Appl.Biol.70,175-188

Yamulki S, (2006). *Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures*. Agriculture, Ecosystem & Environment. 112, 140-145.

Zapata PJ, Serrano M, Pretel M, Botella M, (2008). *Tolerancia a la salinidad de distintas variedades de lechuga durante el desarrollo vegetativo*.

Zhao S, Liu X, Duo L, (2011). *Physical and Chemical Characterization of Municipal Solid Waste Compost in Different Particle Size Fractions*. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 21, No.2 (2012), 509-515.

Zubillaga MS, Branzini A, y Lavado RS, (2008). *Problemas de fitotoxicidad en compost*. "Revista Pilquen, Sección Agronomía, nº 9"

http://www.revistapilquen.com.ar/Agronomia/Agro9/9_Zubillaga%20y%20otros_Colaboracion.pdf

Arcos Mora MA, Dios Pérez M, Rosal Raya A, (2008). *Estudio del compostaje de residuos sólidos urbanos en sistemas de alta eficiencia*. Universidad Internacional de Andalucía.

Altres:

DOUE, Directiva 2008/98/CE del Parlament Europeu i del Consell, del 19 de novembre de 2008, sobre els residus i per la qual es deroguen determinades Directives.

DOUE, Directiva del Consell 91/689/CEE, del 12 de desembre de 1991, relativa a residus perillosos.

DOUE, Directiva 2006/12/CE del parlament europeu y del consell del 5 d'abril de 2006 relativa als residus.

DOUE, Reglament (CE) nº 2003/2003 del Parlament Europeu y del Consell del 13 d'octubre de 2003 relatiu als adobs.

DOUE, Directiva 1999/31/CE de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos.

BOE, Llei 22/2011, de 28 de juliol, de residus i sols contaminats.

DOCG, Llei 9/2008, de 10 de juliol, de modificació de la Llei 6/1993, de 15 de juliol, reguladora dels residus.

BOE, Real Decret 824/2005, de 8 de juliol, sobre productes fertilitzants.

BOE, Ordre PRE/630/2011, de 23 de març, per la qual es modifiquen els annexos I, II, III, IV, V i VI del Reial decret 824/2005, de 8 de juliol, sobre productes fertilitzants.

BOE, Plan Nacional Integrado de Residuos Urbanos para el período 2008-2015.
<http://www.fundacionentorno.org/xtras/soluciones/19.pdf>

PERFIL AMBIENTAL DE ESPAÑA 2009, RESIDUOS. Ministerio de Agricultura, Alimentación i Medio Ambiente.
http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/informacion-ambiental-indicadores-ambientales/2_7Residuos_tcm7-2189.pdf

PERFIL AMBIENTAL DE ESPAÑA 2010, RESIDUOS. Ministerio de Agricultura, Alimentación i Medio Ambiente.
http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/informacion-ambiental-indicadores-ambientales/2_7Residuos_tcm7-161525.pdf

PERFIL AMBIENTAL DE ESPAÑA 2011, RESIDUOS. Ministerio de Agricultura, Alimentación i Medio Ambiente.
[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/2.7_RESIDUOS_2011_BAJA_\(112-121\)_tcm7-277820.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/2.7_RESIDUOS_2011_BAJA_(112-121)_tcm7-277820.pdf)

Simone Manfredi and Rana Pant - Joint Research Centre (JRC), Institute for Environment and Sustainability (IES), Sustainability Assessment Unit Centre (2011) Supporting Environmentally Sound Decisions for Bio-waste Management - A practical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA).
<http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/D4A-Guidance-on-LCT-LCA-applied-to-BIO-WASTE-Management-Final-ONLINE.pdf>

EUROPEAN COMMISSION. Working document Sludge and biowaste. 21 September 2010, Brussels.
<http://wko.at/tirol/industrie/indakt2010/Folge38/Working%20document%20on%20sludge%20and%20biowaste%20%20-%2021%20september%202010.pdf>

Environment Agency. (2009) Sustainable management of biowastes - Compost-Like Output from Mechanical Biological- Treatment of mixed source municipal wastes.
http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/mbt_2010727.pdf

Bureau de normalisation du Québec (BNQ). (2005) CAN/BNQ 0413-200-2005 – *Organic Soil Conditioners – Composts. (Amendements organiques – Composts.)*. 3rd National Edition of Canada. Quebec, Canada

Pàgines web:

Programa de Gestió de Residus Municipals (PROGREMIC): <http://www.progremit.cat/>

Agència catalana de residus. <http://www20.gencat.cat/portal/site/arc/>

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
<http://wheatdoctor.cimmyt.org/>

Agència Europea de Media Ambient (AEMA): <http://www.eea.europa.eu/es/>
<http://www.ambiensys.es/>

Fundació Fòrum Ambiental:
http://www.forumambiental.org/pdf/Model_catala_gestio_RM.pdf

Wikipedia: www.wikipedia.es

CONAMA: <http://www.conama2012.conama.org/web/es/presentacion.html>

9. ACRÒNIMS

ANOVA: Analysis of Variance

AEMA: Agència Europea de Media Ambient

BM: Bioestabilitzat de Mataró

BV: Bioestabilitzat de Vacarisses

CDR: Combustible derivat de residus

CIC: Capacitat d'intercanvi catiònic

CLO: Compost-Like Output

CONAMA: Congreso Nacional del Medio Ambiente

CREAF: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

CSIRO: *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*

JRC: Joint Research Centre

MO: Matèria orgànica

MOT: Matèria orgànica total

PROGREMIC: Programa de Gestió de Residus Municipals

RM: Residus Municipals

RSU: Residus sòlids urbans

TF: Terra fina

TOC: Total organic carbon

TMB: Tractament mecànic i biològic

UAB: Universitat Autònoma de Barcelona

WHC: *water-holding capacity*

10.ANNEX

Taula 18. Anàlisi del bioestabilitzat de Mataró pres el 22/12/2011, realitzat per Applus.

Anàlisi	Resultat Unitats	Mètode d'anàlisi / PNT
MATERIA SECA 105°C	52,3 % s.m.f.	Gravimetria/PA-098
pH (ext. 1:5 H ₂ O) *	7,1	Potenciometria
COND.ELEC.A 25°C (ext. 1:5) *	7,94 dS/m	Conductimetria
N KJELDAHL m.seca (N)	1,51 % s.m.s.	Titulació volumètrica/PA-089
N AMONIACAL m.fres. (N) *	0,53 % s.m.s.	Titulació volumètrica
MATERIA ORGANICA *	52,3 % s.m.s.	Gravimetria
FOSFOR (P) (ext. àcid) *	0,35 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
POTASSI (K) (ext. àcid) *	0,65 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
CALCI (Ca) (ext. àcid) *	5,49 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
MAGNESI (Mg) (ext. àcid) *	0,68 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
FERRO (Fe) (ext. àcid) *	0,71 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
CADMI (Cd) (ext. àcid) *	0,5 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
COURE (Cu) (ext. àcid) *	152 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
NIQUEL (Ni) (ext. àcid) *	99 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
PLOM (Pb) (ext. àcid) *	68 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
ZINC (Zn) (ext. àcid) *	327 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
MERCURI (Hg) (ext. àcid) *	0,44 mg/kg s.m.s.	Espectrometria fluoresc. atòm.
CROM (Cr) (ext. àcid) *	198 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
RELAC. CARBONI/NITROGEN *	17,3	Càlcul
GRAU D'ESTABILITAT *	56,7 % s.m.s.	Càlcul
M.O. RESISTENT *	29,7 % s.m.s.	Gravimetria

Nota: En comparació amb el BV de la (taula 20), aquest presenta una humitat molt més elevada.

Taula 19. Anàlisi del bioestabilitzat de Vacarisses pres el 20/12/2011, realitzat per Applus.

Anàlisi	Resultat Unitats	Mètode d'anàlisi / PNT
MATERIA SECA 105°C	70,3 % s.m.f.	Gravimetria/PA-098
pH (ext. 1:5 H ₂ O) *	6,4	Potenciometria
COND.ELEC.A 25°C (ext. 1:5) *	9,29 dS/m	Conductimetria
N KJELDAHL m.seca (N)	2,10 % s.m.s.	Titulació volumètrica/PA-089
N AMONIACAL m.fres. (N) *	0,42 % s.m.s.	Titulació volumètrica
MATERIA ORGANICA *	56,9 % s.m.s.	Gravimetria
FOSFOR (P) (ext. àcid) *	0,47 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
POTASSI (K) (ext. àcid) *	0,72 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
CALCI (Ca) (ext. àcid) *	6,36 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
MAGNESI (Mg) (ext. àcid) *	0,57 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
FERRO (Fe) (ext. àcid) *	1,62 % s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
CADMI (Cd) (ext. àcid) *	0,9 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
COURE (Cu) (ext. àcid) *	215 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
NIQUEL (Ni) (ext. àcid) *	69 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
PLOM (Pb) (ext. àcid) *	238 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
ZINC (Zn) (ext. àcid) *	552 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
MERCURI (Hg) (ext. àcid) *	0,31 mg/kg s.m.s.	Espectrometria fluoresc. atòm.
CROM (Cr) (ext. àcid) *	133 mg/kg s.m.s.	Espectrometria ICP-OES
RELAC. CARBONI/NITROGEN *	13,5	Càlcul
GRAU D'ESTABILITAT *	54,0 % s.m.s.	Càlcul
M.O. RESISTENT *	30,7 % s.m.s.	Gravimetria

Nota. S'observa una quantitat de plom molt elevada, molt superior als 100mg/kg que marca el RD 824/2005 per a un compost classe C (els de més baixa qualitat).

Taula 20. Anàlisi històric (17/04/2012 - 13/09/2012) del bioestabilitzat produït a la planta de TMB de Vacarisses, i analitzat al laboratori de la mateixa planta.

PARAMETRO								
		17/04/2012	11/05/2012	12/06/2012	06/07/2012	17/08/2012	13/09/2012	MITJANA
Materia seca	%s.m.f.	70,60	59,50	65,90	69,40	77,50	69,70	68,77
Materia organica volàtil	% s.m.s.	50,30	54,00	55,00	73,40	68,50	52,70	58,98
Densidad	kg/m3	414,00	436,00	326,00	393,00	287,00	319,00	362,50
Conductividad	ds/m	9,45	10,07	9,52	10,01	8,55	9,91	9,59
C/N		12,50	14,30	14,50	20,90	18,70	13,10	15,67
pH		6,50	6,00	6,40	6,50	7,90	7,70	6,83
Calcio (CaO), Magnesio (MgO)	%s.m.s.	6,81 / 0,76	6,52 / 0,74	6,56 / 0,65	4,48 / 0,40	5,30 / 0,54	6,78 / 0,74	
Nitrógeno (total y amoniacal)	%s.m.s.	2,00 / 0,42	1,89 / 0,46	1,9 / 0,54	1,76 / 0,52	1,83 / 0,34	2,01 / 0,41	
Fósforo (P2O5)	%s.m.s.	0,60	0,59	0,52	0,31	0,40	0,57	0,50
Potasio (K2O)	%s.m.s.	0,67	0,64	0,67	0,67	0,77	0,72	0,69
Grado maduración Rotte		I	I	I	I	II	I	
Màx. Temperatura	°C	70,00	70,00	71,00	71,00	59,00	67,00	68,00
Actividad Respiratoria tras cuatro días (AT4)	mg O2 / g ms	15,61	15,51	37,31	28,47	28,58	24,52	25,00
Respirometría	mg O2 / kg SV/h	780,00	645,00	2919,00	4180,00	3245,00	2808,00	2429,50
Escherichia coli	NMP/g	<10	<10	<10	<10	<10	2400,00	2400,00
Salmonella spp.	P/A 25g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmio	mg/Kg sms	1,20	1,50	1,30	0,90	0,90	1,30	1,18
Cromo	mg/Kg sms	40,00	54,00	36,00	38,00	58,00	75,00	50,17
Cobre	mg/Kg sms	580,00	831,00	230,00	158,00	186,00	210,00	365,83
Mercurio	mg/Kg sms	0,20	0,45	0,41	0,48	0,21	0,35	0,35
Níquel	mg/Kg sms	110,00	44,00	33,00	35,00	43,00	62,00	54,50
Plomo	mg/Kg sms	216,00	230,00	271,00	156,00	150,00	424,00	241,17
Zinc	mg/Kg sms	796,00	670,00	744,00	374,00	444,00	653,00	613,50
Metales> 2mm	%	inapreciable	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable	0,05	0,05
Vidrios> 2mm	%	0,27	0,59	0,61	0,67	0,26	1,45	0,64
Plásticos> 2mm	%	0,37	0,67	1,04	0,67	0,56	0,11	0,57
Metales+vidrios+plásticos >2mm	%	0,64	1,26	1,65	1,34	0,82	1,61	1,22
Grava y piedras > 5 mm	%	inapreciable	inapreciable	inapreciable	inapreciable	inapreciable	inapreciable	
Granulometría >25 mm	%	no realizado	no realizado	no realizado	no realizado	no realizado	no realizado	

Nota: En les diferents anàlisis dutes a terme s'observen uns resultats molt canviants en pràcticament tots els paràmetres. En la respirometría trobem des de valors molt baixos que ens indiquen que es tracta d'un material ben estabilitzat a valors molt alts, que ens indiquen tot el contrari. També s'observen concentracions de metalls pesants molt diferents en funció de la partida. Aquests resultats reforcen les conclusions extretes en aquest treball.

Seguiment del bioassaig:

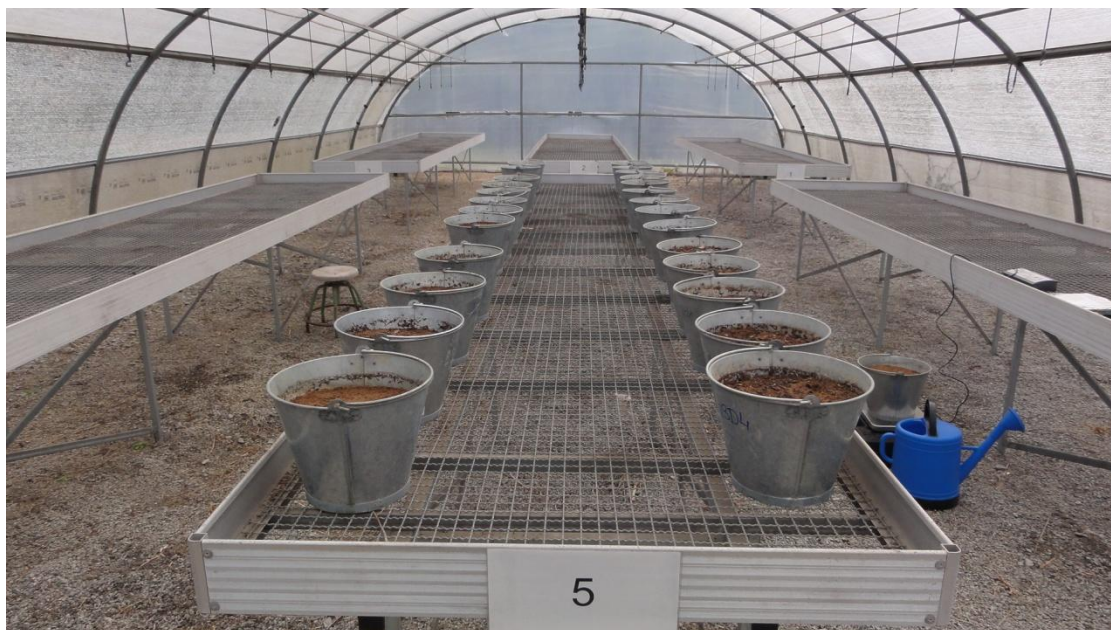


Figura 42. Aspecte del bioassaig el dia en que es van realitzar les sèmres (22/02/2013).



Figura 43. Aspecte de C1 (esquerra-dalt), M2D2 (dreta-dalt), M1D4 (esquerra-baix), M1D8 (dreta-baix) el 20/03/2013.

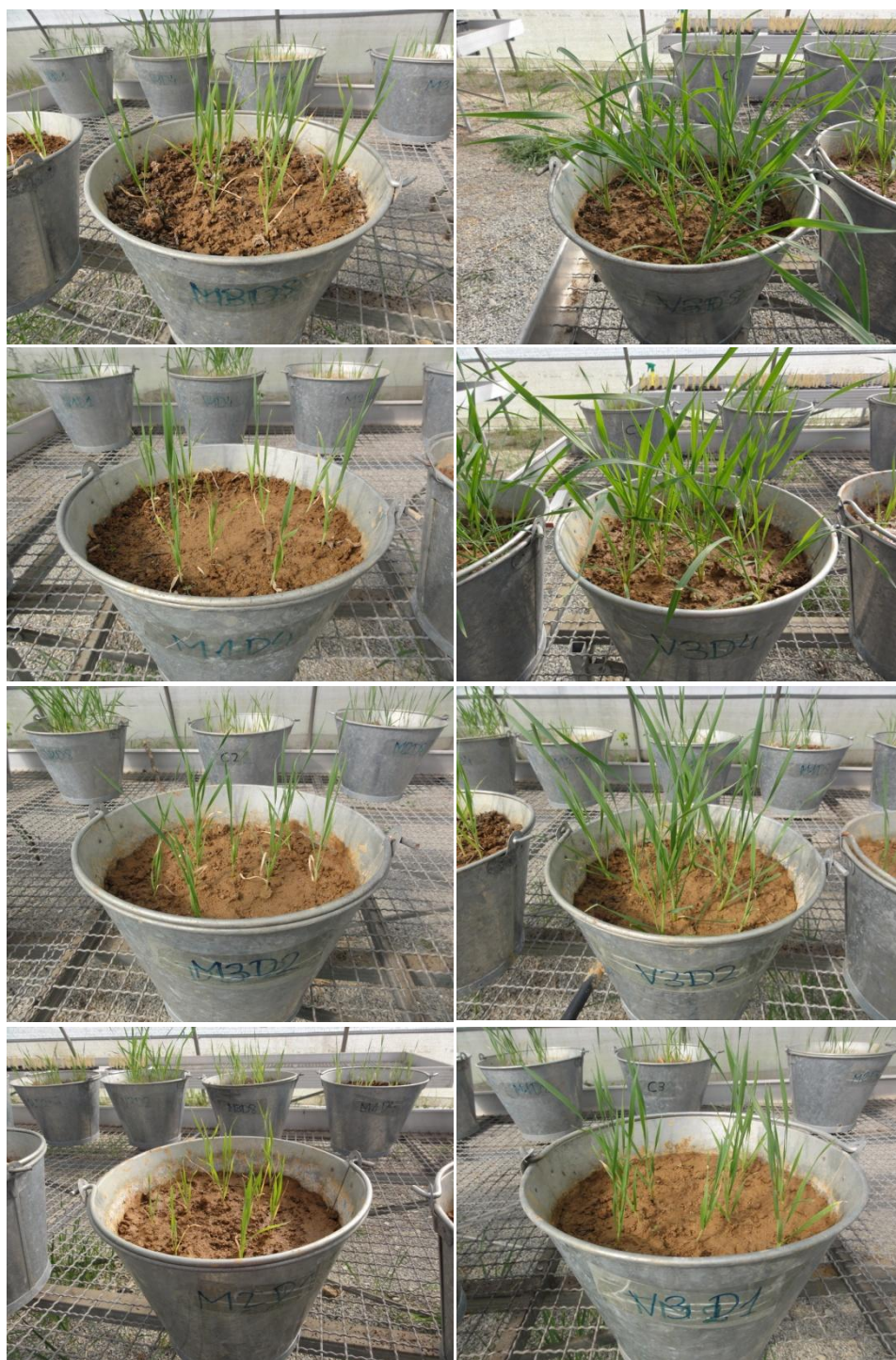


Figura 44. Comparació del creixement de les plàntules de blat el dia (14/04/2013). A la fila de l'esquerra de dalt a baix trobem (M3D8, M1D4, M3D2 i M2D1), a la fila de la dreta de dalt a baix trobem (V3D8, V3D4, V3D2 i V3D1). Aquí es pot observar de manera clara la inhibició del creixement de les plàntules de blat en el sòl esmenat amb BM.

11.PROGRAMACIÓ

Abans de posar en marxa el muntatge del bioassaig per assolir els objectius d'aquest treball, era necessària una bona programació. La penúltima setmana de gener de 2013 es va dur a terme aquesta tasca on es van tractar els següents temes:

- Elecció del sòl que s'utilitzaria com a control.
- Bioestabilitzats amb els que es tractaria
- Elecció de l'espècie vegetal que s'utilitzaria per al bioassaig.
- Anàlisis que es realitzarien, i establir unes dates aproximades.
- Planificació, disseny i durada del bioassaig tenint en compte que el temps de que es disposava era bastant limitat.
- Biografia a consultar.
- Gestió del material necessari .

Prèviament al inici del bioassaig es van consultar alguns llibres referents al compostatge, legislació i articles relacionats també amb l'ús de compostatge i bioestabilitzat com a esmena orgànica.

A la taula que hi ha a continuació es mostra de manera clara les tasques realitzades per a l'elaboració d'aquest treball, i en els períodes de temps que s'ha dut a terme.

Taula 21. Programació de les activitats realitzades.

gener-13	febrer-13				març-13	abril-13	maig-13	juny-13
	1ª setmana	2ª setmana	3ª setmana	4ª setmana				
Programació	Visita a les plantes de tractament de residus de Mataró i Vacarisses i presa de mostres	Muntatge del bioassaig a l'hivernacle	Sembra del blat	Anàlisis mescles: pH, CE, MO dissolta	Anàlisis mescles: pH, CE, MO dissolta, TOC, C-HCl	Anàlisis mescles: pH, CE, MO dissolta, pèrdues per calcinació, cromatografia iònica	Control espigació	Anàlisis mescles: TOC, C-HCl
Acondicionament dels testos				Avaluació de la germinació en el bioassaig	Caracterització bioestabilitzat		Final de bioassaig	
Presa i tamisat del sòl				Anàlisi bioestabilitzat: pH, CE	Assaig de germinació		Pes biomassa total	
		Primer reg	Inici respirometria		Mesures eleongació	Control pèrdua d'humitat	Pes espigues	Final respirometria
					Aclarat	Mesures d'elongació	Anàlisis mescles: pH, CE, MO dissolta	Quantificació pigments fotosintètics
					Avaluació de la germinació en el bioassaig	Biomassa 1r mostreig destructiu	Redacció de la memòria	Redacció de la memòria

